

Treball de Fi de Grau

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials (GETI)

ANÀLISI DE LA QUALITAT DE L'AIRE A L'ÀREA METROPOLITANA DE BARCELONA

Autor: Anas El Haddadi

Director: Antoni Soto i Riera

Convocatòria: Juny del 2020



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



ETSEIB

Resum

Avui en dia la contaminació atmosfèrica està suposant un seriós problema de salut pública i tant científics com experts estan constantment avisant dels riscos que comportarà en el futur. El present treball d'investigació acadèmica està orientat a l'estudi de la qualitat de l'aire a la part central de l'àrea metropolitana de Barcelona, la zona on hi ha una contaminació més elevada.

S'analitzarà de forma crítica la situació actual per analitzar si la salut dels ciutadans de l'àrea metropolitana de Barcelona està en risc. També s'analitzaran les mesures que actualment hi ha aplicades, en especial la Zona de Baixes Emissions, per analitzar la seva efectivitat en reduir la contaminació.

En el cos del treball, primer es realitzarà una tasca d'investigació amb una visió integral i global per mostrar el context de la contaminació actual. S'analitzaran, entre d'altres, l'evolució de la contaminació en les últimes dos dècades i els nivells de contaminació en funció de la situació geogràfica arreu del món. Posteriorment es realitzarà un anàlisi de dades dels contaminants principals en la Zona de Baixes Emissions, a partir de les dades que publica la Generalitat de Catalunya (Open Data) i utilitzant eines estadístiques i de programació per a la manipulació de dades.

Per últim es mostraran les conclusions extretes tant de la tasca d'investigació com de l'anàlisi de dades. També s'inclourà una proposta per a millorar la Zona de Baixes Emissions.

Llistat d'abreviatures i símbols

A la memòria s'utilitzen abreviatures o sigles per tal de facilitar la lectura i no haver de repetir termes que són en general coneguts, però que sense context podrien generar confusió o que el lector pot no conèixer. A continuació es defineixen els termes:

Termes que fan referència a sigles o abreviatures:

- **AMB:** Aquest terme fa referència a l'Àrea Metropolitana de Barcelona, que comprèn la ciutat de Barcelona i els municipis circumdants.
- **ZBE:** Aquest terme fa referència a la Zona de Baixes Emissions que hi ha actualment a l'àrea metropolitana de Barcelona.
- **OMS:** Aquestes sigles fan referència a l'Organització Mundial de la salut. Cal destacar que les seves sigles oficials en anglès són WHO (World Health Organization).
- **COVID-19:** Fa referència a la malaltia infecciosa causada pel virus SARS-CoV-2 que ha desencadenat una pandèmia mundial durant l'any 2020.

Termes que fan referència a gasos o partícules contaminants:

- **NO₂:** Diòxid de Nitrogen
- **PM₁₀:** Partícules pesants amb un diàmetre de 10 micres o menys
- **O₃:** Molècules d'ozó
- **SO₂:** Diòxid de sofre
- **CO:** Monòxid de carboni
- **NH₃:** Amoníac
- **CH₄:** Metà
- **NMVOC:** Compostos orgànics volàtils diferents al metà
- **BC:** Negre de carbó

Índex

Índex de figures	7
Índex de taules	7
1 Introducció	9
1.1 Motivació	9
1.2 Objectius i abast del projecte	10
1.3 Estructura del document	10
2 Recerca de la qualitat de l'aire	13
2.1 Contaminants principals	13
2.2 Efectes sobre la salut	14
2.3 Context geogràfic	15
2.4 Evolució històrica	17
2.5 Fonts emissores dels contaminants a Europa	19
2.6 Mesures per a reduir la contaminació	20
2.7 Situació a l'AMB	22
2.7.1 Immissions i emissions a la ciutat de Barcelona	22
2.7.2 Zona de Baixes Emissions a l'AMB	23
2.7.3 Sistema de restricció dels vehicles	24
2.7.4 La xarxa de vigilància i previsió de la qualitat de l'aire	26
3 Anàlisi de dades de l'AMB	31
3.1 Eines	31
3.2 Descripció de les dades	31
3.3 Tractament de les dades	31
3.4 Anàlisi previ de les dades	32
3.5 Filtres aplicats a les dades	35
3.6 Anàlisi de les dades històriques	36
3.6.1 Tipus de gràfics	36
3.6.2 Anàlisi NO ₂	38
3.6.3 Anàlisi PM ₁₀	44
3.6.4 Anàlisi O ₃	48
3.6.5 Anàlisi SO ₂	52
3.6.6 Anàlisi CO	56
3.7 Anàlisi de dades de l'estat d'alarma	59
3.7.1 Model de gràfic	60
3.7.2 Anàlisi NO ₂	60
3.7.3 Anàlisi PM ₁₀	62
3.7.4 Anàlisi O ₃	63
4 Anàlisi econòmic	65
5 Conclusions	69
5.1 Efecte dels contaminants actualment	69
5.2 Efectivitat de la ZBE	70
5.3 Agraïments	71

Bibliografia	73
---------------------	-----------

ANNEX	75
--------------	-----------

Estacions en l'Àrea Metropolitana de Barcelona	75
Descripció del conjunt de dades	76

Índex de figures

1	Causa de les morts segons The Guardian [4] i la OMS [5]	15
2	Mapa mundial de la concentració de PM _{2.5} [5]	16
3	Mapa del número de morts per la contaminació de l'aire al 2015 [3]	16
4	Percentatge de població que supera els llimars de la OMS de PM ₁₀ [5]	17
5	Mapa d'Espanya amb els valors del NO ₂ , O ₃ , PM _{2.5} i SO ₂ a l'any 2018 [6]	17
6	Percentatge de població urbana experimentant una reducció de PM ₁₀ o PM _{2.5} [5]	18
7	Evolució dels principals contaminants a l'Unió Europea [7]	18
8	Evolució dels principals contaminants al territori espanyol [8]	19
9	Contribució de cada sector en els contaminants principals en l'Unió Europea [9]	20
10	Nivells de PM ₁₀ i NO ₂ a l'Unió Europea a l'any 2015 [9]	21
11	Immissions i emissions de NO ₂ i PM ₁₀ a Barcelona l'any 2013 [11]	23
12	Mapa de la zona de baixes emissions	24
13	Circulació horària de vehicles amb i sense etiqueta (per una setmana) [14]	24
14	Previsió d'emissions de NO _x i PM ₁₀ a l'AMB [14]	26
15	Situació de les estacions d'immissió a l'AMB [18]	27
16	Mapa amb els límits geogràfics de la ZBE [19]	28
17	Mapa qualitat de l'aire a Catalunya [19]	33
18	Exemple gràfic de l'evolució de la mitjana anual en les dades històriques	36
19	Exemple de la distribució horària de la mitjana anual en les dades històriques	37
20	Exemple de la distribució mensual i setmanal de la concentració en les dades històriques	37
21	Exemple de la superació del llindar de curt termini en les dades històriques	38
22	Evolució anual històrica del NO ₂	40
23	Distribució horària del NO ₂ a l'any 2019	41
24	Dies en els qual s'ha superat el llindar de curt termini de NO ₂	43
25	Distribució setmanal i mensual del NO ₂	43
26	Evolució anual del PM ₁₀	45
27	Distribució horària del PM ₁₀ a l'any 2019	46
28	Dies en els qual s'ha superat el llindar de curt termini de PM ₁₀	47
29	Distribució setmanal i mensual del PM ₁₀	48
30	Evolució anual del O ₃	49
31	Distribució horària del O ₃ a l'any 2019	50
32	Dies en els qual s'ha superat el llindar de curt termini del O ₃	51
33	Distribució setmanal i mensual del O ₃	52
34	Evolució anual del SO ₂	53
35	Distribució horària del SO ₂ a l'any 2019	54
36	Dies en els qual s'ha superat el llindar de curt termini del SO ₂	55
37	Distribució setmanal i mensual del SO ₂	56
38	Superació del llindar de curt termini i evolució anual del CO	57
39	Distribució horària del CO a l'any 2019	58

40	Distribució setmanal i mensual del CO	59
41	Model de gràfic de l'anàlisi de l'estat d'alarma	60
42	Evolució durant l'estat d'alarma del NO ₂	61
43	Evolució durant l'estat d'alarma del PM ₁₀	62
44	Evolució durant l'estat d'alarma del O ₃	63
45	Descripció de les estacions a l'AMB [28]	75

Índex de taules

1	Llindars límits del NO ₂ establerts per la OMS	13
2	Llindars límits del SO ₂ establerts per la OMS	13
3	Llindars límits del PM establerts per la OMS	14
4	Llindars límits del O ₃ establerts per la OMS	14
5	Llindars límits del CO i altres contaminants, establerts per la OMS	14
6	Normes europees sobre emissions per a turismes, en g/km [16]	25
7	Descripció de les estacions d'immissió de la ZBE	28
8	Recompte d'estacions per cada contaminant	35
9	Dies no laborables [23]	35
10	Cost dels equips utilitzats	65
11	Programari utilitzat	65
12	Salaris per hora de cada rol	66
13	Dedicació en hores del treball	66
14	Cost total de la realització del projecte	67
15	Descripció del conjunt de dades	78

1 Introducció

Gràcies a les revolucions industrials i els avanços científics cada vegada han augmentat els nuclis urbans i per tant la densitat de població. Els nuclis urbans han permès avançar significativament als éssers humans però també ha comportat l'aparició de nous problemes que mai s'havien vist anteriorment i que per tant, avui en dia no tenen solució. Un d'aquests problemes és la contaminació atmosfèrica, que serà el tema principal d'anàlisi d'aquest document. La contaminació atmosfèrica s'ha convertit, inevitablement, de part de la vida quotidiana. Els majors emissors de contaminació atmosfèrica són els combustibles fòssils, i tot i que la població és conscient de la seva limitació i extinció en el futur, no s'està invertint suficient en fer una transició energètica per tal d'evitar problemes encara més greus.

El sector privat no està innovant, ja que econòmicament comportaria una reducció important dels seus beneficis, per tant està en el seu interès seguir amb el model actual fins que s'esgotin els recursos naturals. Gràcies a noves companyies com Tesla, productora de vehicles elèctrics, ha forçat a la competència a innovar i obtenir vehicles que funcionin amb energia elèctrica, per tal de mantenir la seva supervivència en el futur. El paper de les noves companyies i la innovació tecnològica està sent vital en l'objectiu de tenir una transició ecològica ràpida.

Pel que fa al sector públic, no s'està destinant suficient inversió per a la innovació, ja que els votants no consideren una prioritat destinar diners en aquest àmbit. La societat actual està constantment rodejada d'informació, i és habitual que certes fonts no siguin fiables i es divulguin notícies falses. Aquesta falta d'informació fiable i de conscienciació per part de la societat, està comportant la destinació de menys recursos a la investigació i per tant una transició ecològica més lenta.

Una qualitat de l'aire deficient mostra una mala planificació i organització per part dels governs, i en última instància, per una ciutadania que no és conscient dels greus efectes per a la salut que comporta. Tothom hauria de tenir dret a respirar un aire net que no comporti riscos per a la seva salut. En aquesta època, amb l'aparició de la pandèmia de la COVID-19, queda més clar que mai que la investigació i la innovació tecnològica són primordials per millorar el futur. Per això, es considera fonamental avaluar els nivells de contaminació als quals està exposada la ciutadania i divulgar els resultats, ja que la divulgació es primordial si és vol canviar el camí actual.

1.1 Motivació

La contaminació atmosfèrica és un tema que m'ha generat molt interès i preocupació al llarg d'aquests anys. De fet, la curiositat és la raó principal de la realització d'aquest treball.

Actualment hi ha molta informació sobre la contaminació atmosfèrica però moltes vegades aquesta informació és contradictòria i pot portar a confusió. Es considera que cal ser un pensador crític i no acceptar tota la informació com a veritat. Els filòsofs grecs com Plató, Sòcrates o Aristòtil, sense la abundància d'informació que hi ha actualment, es dedicaven constantment a qüestionar la realitat.

Amb aquest treball s'aconseguiran dos objectius personals:

- Adquirir un major coneixement de la contaminació atmosfèrica però a partir de les fonts originals que sempre són més fiables que cadenes de televisió o diaris, ja que moltes vegades només mostren una part de la realitat.

- Millorar les habilitats de recerca d'informació, saber quan qüestionar si una font no és fiable i utilitzar eines de programació i estadístiques per avaluar la informació. Habilitats necessàries per a ser un pensador crític en la era del internet.

Per últim, destacar que es considera que treballs sense ànim de lucre com aquest, si es realitzen de forma més comuna per gent experta de diferents àmbits, poden beneficiar molt a la societat.

1.2 Objectius i abast del projecte

Aquest projecte es proposa estudiar la qualitat de l'aire a l'àrea metropolitana de Barcelona a partir d'una tasca d'investigació de diferents fonts i posteriorment a partir d'un anàlisi de dades.

La contaminació atmosfèrica és la presència en l'aire de substàncies o matèries que afecten a la naturalesa i als éssers vius que resideixen en aquella zona. En aquest estudi es limitarà a estudiar aquelles substàncies que afecten únicament a la salut dels humans. En conseqüència, gasos que tenen un efecte molt nociu sobre el planeta terra com podrien ser el diòxid de carboni (CO₂) queden exclosos d'aquest estudi. Reduir els gasos d'efecte hivernacle és una tasca a llarg termini i l'objectiu d'aquest anàlisi és avaluar mesures que s'han aplicat o que es podrien aplicar a curt o mig termini.

En relació amb els límits geogràfics, es limitarà a estudiar la zona de l'àrea metropolitana de Barcelona amb els nivells de contaminació més elevats, ja que és la zona on la població és més susceptible de tenir una pitjor salut per la qualitat de l'aire. Aquesta zona és la que s'ha considerat en la Zona de Baixes Emissions (ZBE), que té una àrea de 95 km² i en la que pertanyen la ciutat de Barcelona i els municipis circumdants de L'Hospitalet de Llobregat, Sant Adrià del Besòs i part de Cornellà de Llobregat i Esplugues de Llobregat.

Es començarà amb una recerca de la situació actual per entendre millor el context actual i veure quins són els paràmetres més importants alhora de valorar la contaminació de l'aire. Un cop realitzat aquest estudi previ, s'utilitzaran les dades públiques dels valors d'immissió en la ZBE per realitzar diferents gràfics i comparar-los amb els líndars establerts per la OMS i avaluar les tendències que es puguin apreciar. Aquestes dades provenen de la xarxa de vigilància i previsió de la qualitat de l'aire de la Generalitat de Catalunya i per tant s'assumeix la seva veracitat, tot i que es comprovaran errors que puguin haver en les dades. Per últim cal destacar que estadísticament, totes les correlacions que es trobin no impliquen causalitat, per tant no es poden considerar com definitives però sí com guies per valorar la situació actual.

1.3 Estructura del document

Aquest document consta d'una introducció, dos blocs independents amb diversos capítols que representen el cos del treball, un anàlisi econòmic del projecte i per últim unes conclusions. S'ha escrit de manera que els diferents capítols estiguin ben diferenciats els uns dels altres, per tant el lector pot escollir els que consideri més rellevants.

En el primer bloc s'analitzarà la situació actual de la contaminació atmosfèrica a partir de diferents punts de vista. Cada capítol d'aquest bloc mostra informació concreta sobre la contaminació que permet entendre millor el context general. Es recomana llegir el capítol [2.7](#) ja que facilitarà la lectura del segon bloc.

El segon bloc consisteix en l'anàlisi de dades dels contaminants principals en la ZBE. Primerament s'explica com s'ha realitzat aquest estudi de dades i posteriorment es mostren els resultats. S'han fet dos anàlisis de dades que estan en dos capítols diferents. El primer s'ha realitzat a partir de les dades històriques per mirar l'evolució de la contaminació, mentre que el segon s'ha realitzat en els primers 4 mesos de l'any 2020 per avaluar els canvis que s'han produït en l'estat d'alarma. Si el lector té únicament interès per veure els gràfics finals pot saltar-se els primers capítols i llegir directament els capítols [3.6](#) i [3.7](#).

Finalment, després d'analitzar econòmicament el projecte, es proporcionen d'una manera concisa les conclusions d'aquest treball i també es proposa alguna mesura que podria aplicar-se en el futur.

Al final de la memòria hi ha un annex per consultar certa informació si es considera necessari. Les dades i el codi utilitzats per generar els gràfics del segon bloc es podran trobar al material addicional.

2 Recerca de la qualitat de l'aire

2.1 Contaminants principals

Els contaminants poden ser gasos, partícules sòlides o molècules biològiques. En aquest capítol s'explicaran quins són, quins efectes sobre la salut tenen i les concentracions màximes que recomana la Organització Mundial de la Salut [1].

Primerament, cal deixar clar la diferència entre emissió i immissió [2]. El primer fa referència als contaminants alliberats per una font. Un cop s'han alliberat, es desplacen, s'acumulen i es degraden fins arribar a una concentració concreta en una certa zona. Aquesta concentració és la immissió. Per tant els llindars fan referència a la immissió en una zona, no a l'emissió.

Diòxid de Nitrogen (NO₂):

El NO₂ és principalment produït en els processos de combustió (escalfament, generació d'energia i motors en vehicles i vaixells). En quantitats superiors a les estimades, estudis epidemiològics han demostrat que els símptomes de la bronquitis en nens asmàtics augmenten en associació amb l'exposició a llarg termini al NO₂. El creixement de la funció pulmonar reduïda també està relacionat amb el NO₂ a concentracions actualment mesurades (o observades) a les ciutats d'Europa i Amèrica del Nord.

Mitjana anual	40 µg/m ³
Mitjana en 1 hora	200 µg/m ³

Taula 1: Llindars límits del NO₂ establerts per la OMS

Aquestes dades impliquen que el NO₂ a curt termini és un gas tòxic si les concentracions excedeixen els 200 µg/m³ i que a llarg termini afecta a la salut si la concentració supera els 40 µg/m³.

Diòxid de Sofre (SO₂):

El SO₂ és un gas incolor amb una forta olor. Es produeix també a partir de la crema de combustibles fòssils, que en les ciutats són principalment els vehicles de motor, la generació d'energia i la calefacció domèstica. Aquest gas pot afectar al sistema respiratori i les funcions dels pulmons i provocar irritació als ulls. La inflamació de les vies respiratòries provoca tos, agreujament de l'asma i bronquitis crònica entre d'altres. A més, és el principal component de la pluja àcida causant de la desforestació ja que quan es combina amb aigua es forma àcid sulfúric.

Mitjana diària	20 µg/m ³
Mitjana en 10 minuts	500 µg/m ³

Taula 2: Llindars límits del SO₂ establerts per la OMS

Partícules pesants (PM):

Aquestes partícules afecten a més persones que qualsevol altre contaminant. Consisteix en una barreja complexa de partícules sòlides i líquides de substàncies orgàniques i inorgàniques suspeses a l'aire (amoníac, sulfats, nitrats, etc.) Tot i que les partícules amb un diàmetre de 10 micres o menys (PM₁₀) poden penetrar i allotjar-se dins dels pulmons, les partícules amb un diàmetre de 2.5 micres o menys (PM_{2.5}) són encara més perjudicials per a la salut.

De fet, el PM_{2.5} pot penetrar la barrera pulmonar i entrar al sistema sanguini. L'exposició crònica contribueix al risc de desenvolupar malalties respiratòries i cardiovasculars, així com càncer de pulmó. Cal destacar que la contaminació per partícules petites té impactes sobre la salut fins i tot a concentracions molt baixes, de fet no s'ha identificat cap llindar per sota del qual no s'observa cap d'any a la salut.

PM ₁₀	
Mitjana anual	20 µg/m ³
Mitjana diària	50 µg/m ³
PM _{2.5}	
Mitjana anual	10 µg/m ³
Mitjana diària	25 µg/m ³

Taula 3: Llindars límits del PM establerts per la OMS

Ozó (O₃):

L'ozó a nivell del sòl, que és diferent de la capa d'ozó a l'atmosfera superior, és un dels principals components del smog fotoquímic (quan l'atmosfera adquireix un color gris o negre, semblant al d'una boira). Es forma per la reacció amb la llum solar, per tant els nivells més alts de contaminació es produeixen en períodes de temps assolellat. Entre els efectes sobre la salut estan els problemes respiratoris, reduir la funció pulmonar, desencadenar asma i causar malalties pulmonars.

Mitjana en 8 hores	100 µg/m ³
--------------------	-----------------------

Taula 4: Llindars límits del O₃ establerts per la OMS

Altres contaminants:

Tot i que aquests són els principals, cal destacar que hi ha més contaminants que també afecten la salut però en general solen tenir uns nivells de concentració menor i per tant suposen un risc inferior. Entre aquests estan el monòxid de carboni (CO) o metalls pesants com el plom (Pb) i el Cadmi (Cd).

CO	
Mitjana en 1 hora	30 mg/m ³
Mitjana en 8 hores	10 mg/m ³
Pb	
Mitjana anual	0.5 µg/m ³
Cd	
Mitjana anual	5 ng/m ³

Taula 5: Llindars límits del CO i altres contaminants, establerts per la OMS

2.2 Efectes sobre la salut

Com ja s'ha comentat, els contaminants que estan en l'atmosfera afecten considerablement la salut de tota la població. Aquests efectes depenen del tipus de contaminant al que estigui exposada una persona, del grau d'exposició, de l'estat de salut i la genètica de l'individu. L'objectiu d'aquest capítol és quantificar la gent actualment afectada per la contaminació atmosfèrica.

Mortalitat

La OMS al 2014 va estimar que es produïen unes 7 milions de morts prematures arreu del món cada any a causa de la contaminació atmosfèrica [3]. Un estudi publicat per *The Guardian* el març de 2019 augmenta aquesta xifra fins al 8.8 milions de persones [4]. Cal destacar que la causa d'aquestes morts normalment no s'atribueix a l'estat de la qualitat de l'aire però en definitiva les dades ho mostren de forma clara. La Figura 1 mostra com el 40% d'aquestes morts és per malalties cardiovasculars, una dada rellevant a tenir en compte ja que la contaminació atmosfèrica no només afecta al sistema respiratori.

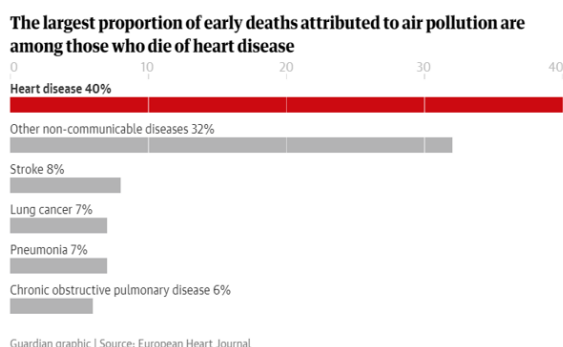


Figure 20: Deaths attributable to AAP in 2012, by disease

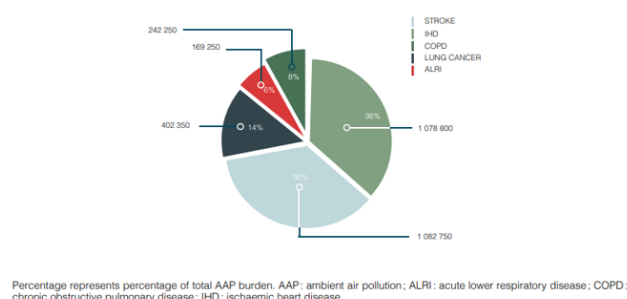


Figura 1: Causa de les morts segons The Guardian [4] i la OMS [5]

Malalties cardiovasculars

Un estudi del 2007 va trobar que per cada $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que puja la contaminació atmosfèrica, augmenta entre un 12 i un 14% el risc de morir per una malaltia cardiovascular [3]. Diferents estudis han demostrat que els contaminants són un factor de risc d'ictus cerebral, malaltia cerebrovascular.

Malalties respiratòries

Estudis de la "American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine" i altres entitats han demostrat que hi ha un major risc de desenvolupar asma i la malaltia pulmonar obstructiva crònica (MPOC), sent aquesta última la quarta causa de mort al món, per una exposició més gran a la contaminació atmosfèrica relacionada amb el trànsit [3].

Càncer de pulmó

Un estudi realitzat al 2007 va trobar dades sòlides per concloure que l'exposició a llarg termini de $\text{PM}_{2.5}$ augmenta la probabilitat de patir càncer de pulmó entre un 15 i un 21% per cada $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ entre d'altres malalties. De fet, es comenta que és equivalent a fumar diversos cigarrets al dia. Un altre estudi del 2011 va trobar un augment del risc de càncer de pulmó per a pacients que vivien en zones amb altes concentracions d'òxids de nitrogen [3].

2.3 Context geogràfic

La contaminació atmosfèrica no afecta de manera igual als països. Els pitjors afectats són els països en vies de desenvolupament, ja que són els que no tenen recursos per a realitzar una transició ecològica. Això es veu clarament a la Figura 2, que mostra la mitjana anual de $\text{PM}_{2.5}$ per cada regió. La OMS estableix el límit en $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

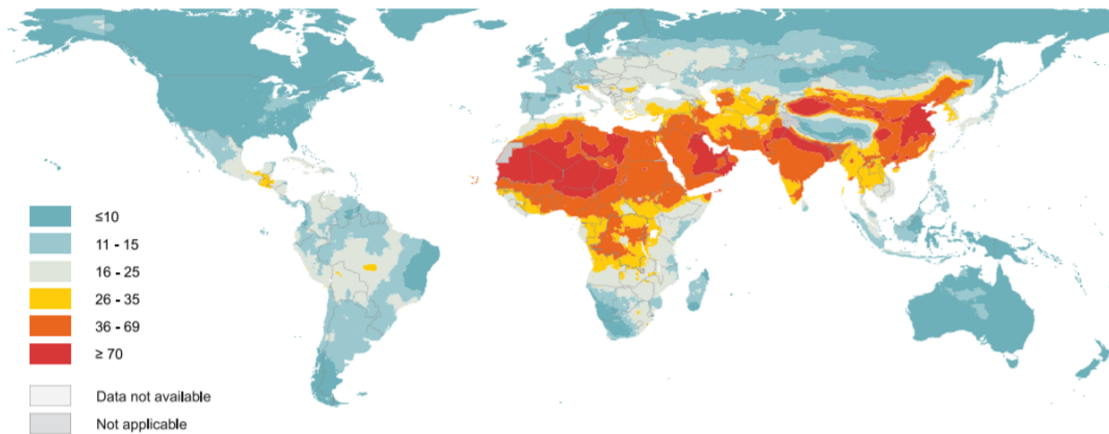


Figura 2: Mapa mundial de la concentració de $PM_{2.5}$ [5]

Hi ha un considerable número de països que multiplica per diverses vegades el líndar màxim amb les conseqüències que comporta. S'aprecia com el sud-est asiàtic i Àfrica són les regions amb pitjors condicions. De fet, totes les dades deixen clar que aquestes són les regions amb una mortalitat més elevada per la contaminació de l'aire. Pel que fa a la Figura 3, és important tenir en compte que la població en el sud-est asiàtic és molt més alta que en Àfrica, per tant és lògic que el número de morts també sigui major.

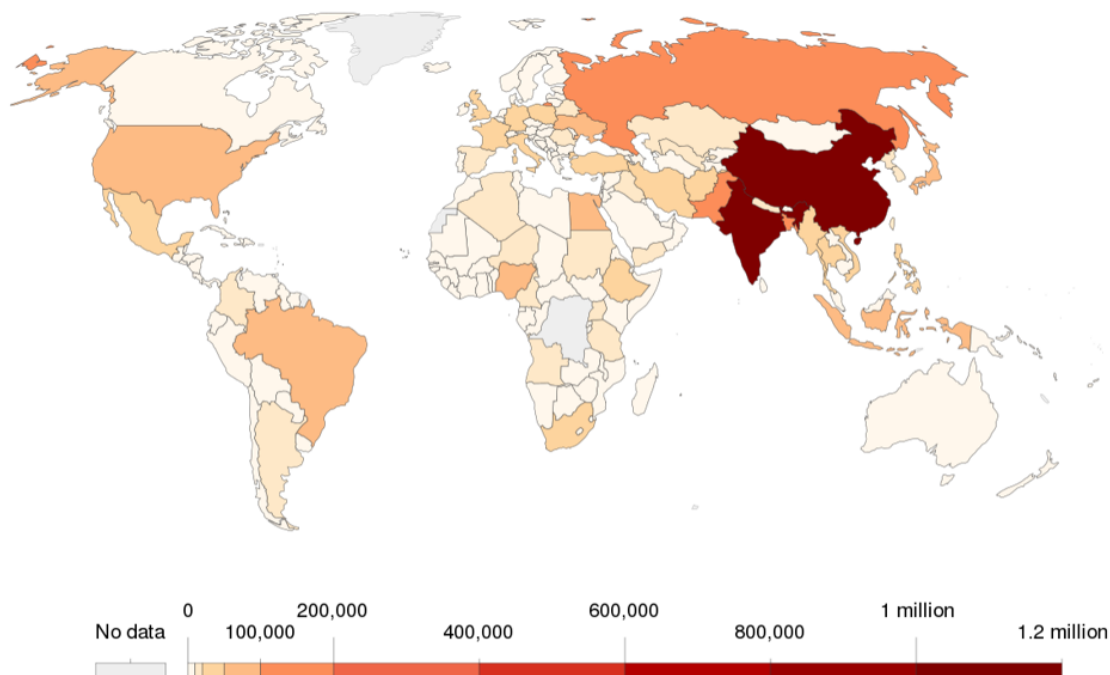


Figura 3: Mapa del número de morts per la contaminació de l'aire al 2015 [3]

També cal destacar que a Europa, tot i no estar a nivells tant dolents com altres països, també se supera el líndar màxim establert. En concret, la Figura 4 del mateix estudi de la OMS estableix que un 92% de la població està exposada a concentracions superiors al màxim.

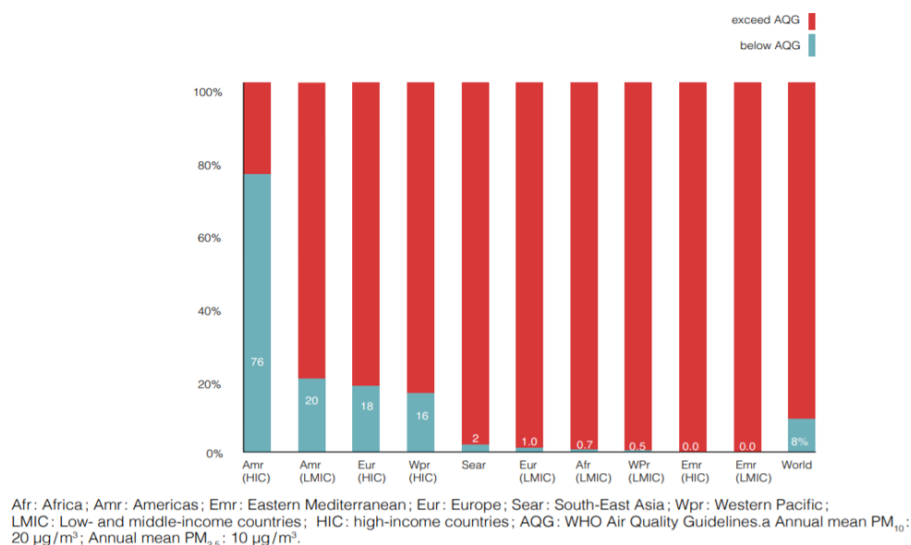


Figura 4: Percentatge de població que supera els lílindars de la OMS de PM_{10} [5]

Centrant-nos més en la situació a Espanya, aquí també afecta de manera diferent a les regions. La Figura 5 mostra com l'àrea metropolitana de Barcelona i la ciutat de Madrid són les que tenen pitjors nivells de contaminació, lògic tenint en compte que són zones urbanes amb milions d'habitants. L'ozó i el NO_2 són els gasos que més afecten en aquestes àrees.

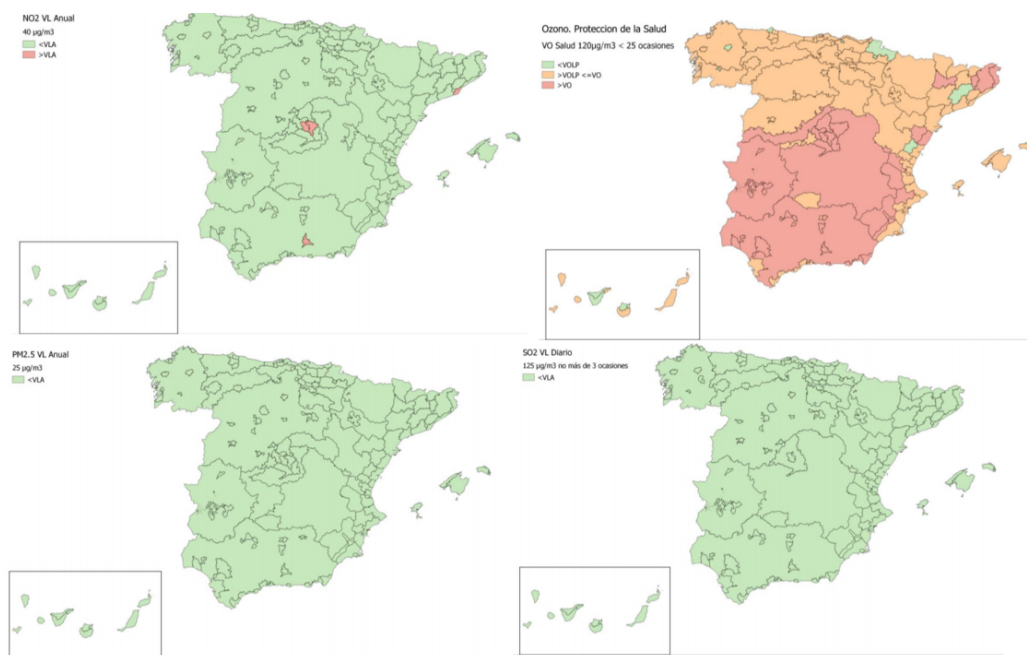
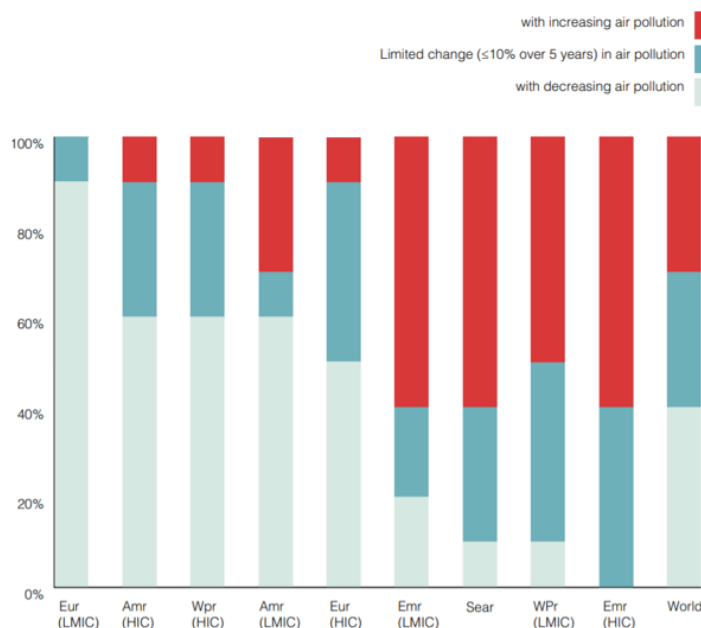


Figura 5: Mapa d'Espanya amb els valors del NO_2 , O_3 , $PM_{2.5}$ i SO_2 a l'any 2018 [6]

2.4 Evolució històrica

L'evolució de la contaminació atmosfèrica afecta diferentment a les diferents regions del món. Segons la Figura 6, a les regions d'Europa i Nord-Amèrica en general s'ha mantingut constant o reduït mentre que en altres zones com el sud-est asiàtic ha augmentat de forma notable.



Amr: Americas; Emr: Eastern Mediterranean; Eur: Europe; Sear: South-East Asia, Wpr: Western Pacific; LMIC: Low- and middle-income countries; HIC: high-income countries.

Figura 6: Percentatge de població urbana experimentant una reducció de PM_{10} o $PM_{2.5}$ [5]

Si es mira de forma més detallada a Europa a partir de la Figura 7, es pot veure que aquesta reducció dels contaminants ha sigut consecutiva al llarg de les últimes dues dècades i que tots els contaminants s'han anat reduint. En definitiva, la transició energètica i les mesures que s'han pres han sigut efectives.

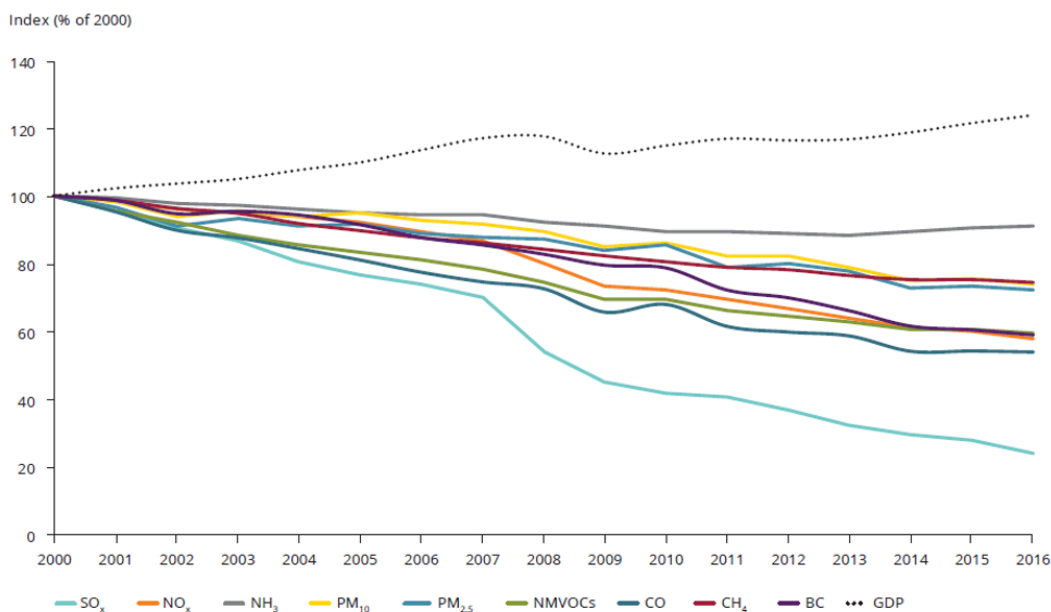


Figura 7: Evolució dels principals contaminants a l'Unió Europea [7]

Per últim, a Espanya també s'aprecia la mateixa tendència que hi ha hagut a Europa segons la Figura 8, amb una disminució notable al llarg dels anys:

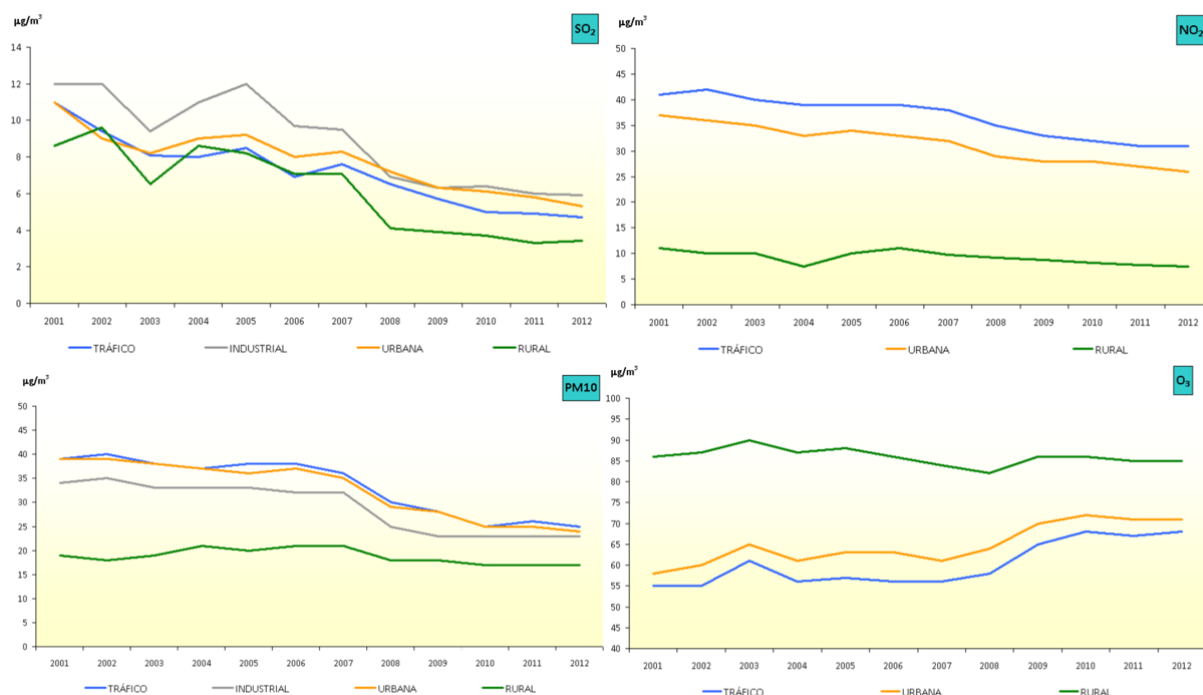


Figura 8: Evolució dels principals contaminants al territori espanyol [8]

2.5 Fonts emissores dels contaminants a Europa

Actualment es pressuposa que la majoria de les emissions de contaminants provenen dels vehicles i de les indústries. Per a mirar si aquest mite és cert s'ha analitzat la Figura 9 que mostra la contribució dels principals sectors que generen emissions per a cada contaminant. Les dades mostren com únicament en el cas del NO₂ i el BC els vehicles de combustió interna tenen un pes alt en les emissions totals. La contribució de cada sector varia en funció de cada contaminant però hi ha 5 sectors que són en general rellevants:

- Agricultura
- Contribució regional (comerços, institucions, llars, obres)
- Producció i distribució d'energia
- Indústries
- Transports

Els últims dos sectors són els que més protagonisme tenen en les notícies però en general només representen la meitat de tota la contaminació emesa.

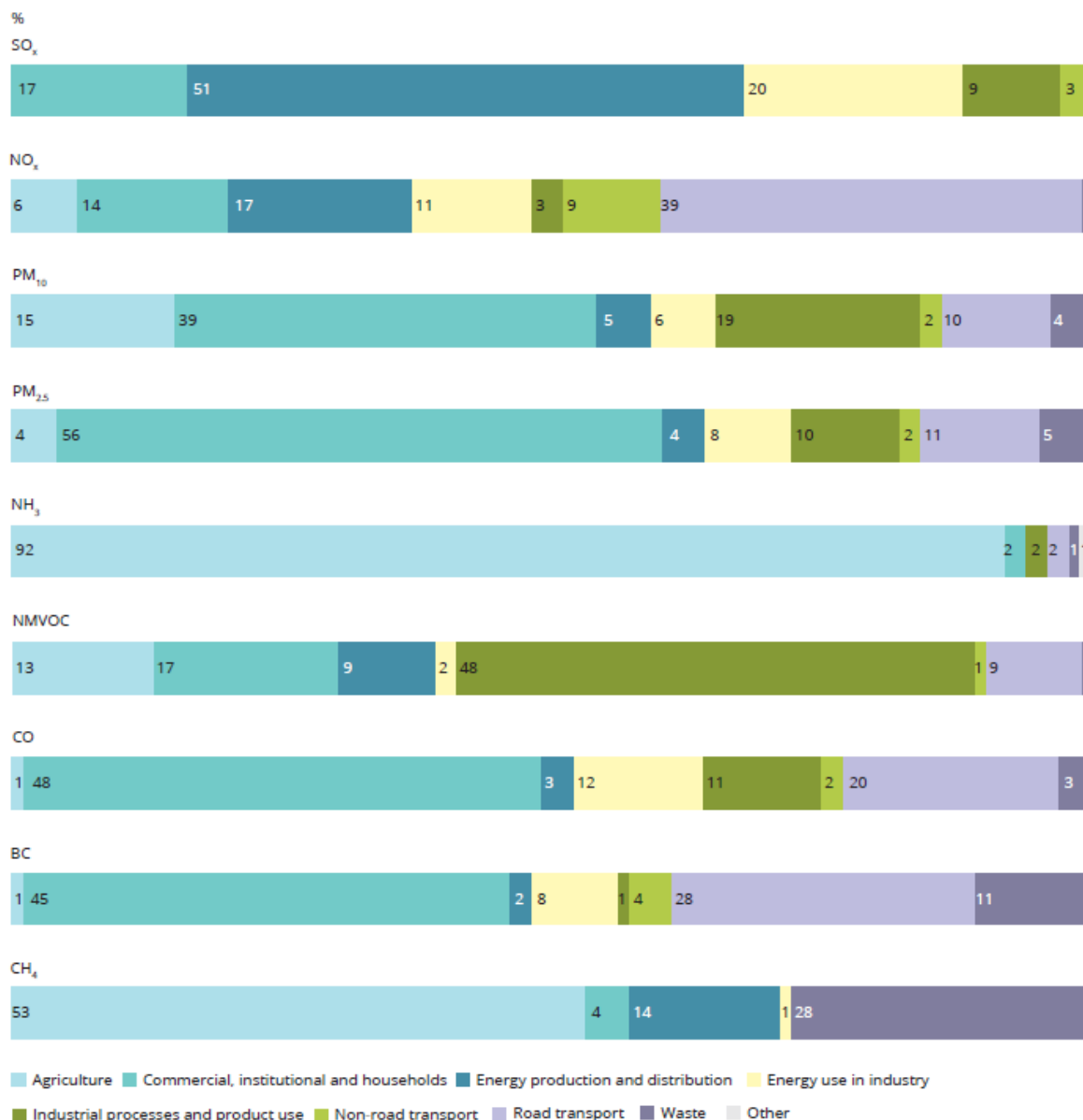


Figura 9: Contribució de cada sector en els contaminants principals en l'Unió Europea [9]

Cal destacar que aquestes dades fan referència a les emissions i no a les immissions per tant pot haver diferències si considerem blocs urbans o rurals, ja que en els primers el pes de la contaminació dels vehicles serà probablement major que en el segon cas.

2.6 Mesures per a reduir la contaminació

Una de les mesures més comunes en els països desenvolupats és la implementació de zones de baixes emissions, és a dir, zones urbanes on certs vehicles molt contaminants tenen l'entrada restringida. Amb aquesta mesura es redueix la concentració tant de NO₂ com de PM₁₀.

Per exemple, en Europa hi ha unes 250 zones com les que s'acaba de comentar [10]. Cada vegada són més nombroses, ja que la majoria de les ZBE vigents han reduït considerablement la contaminació.

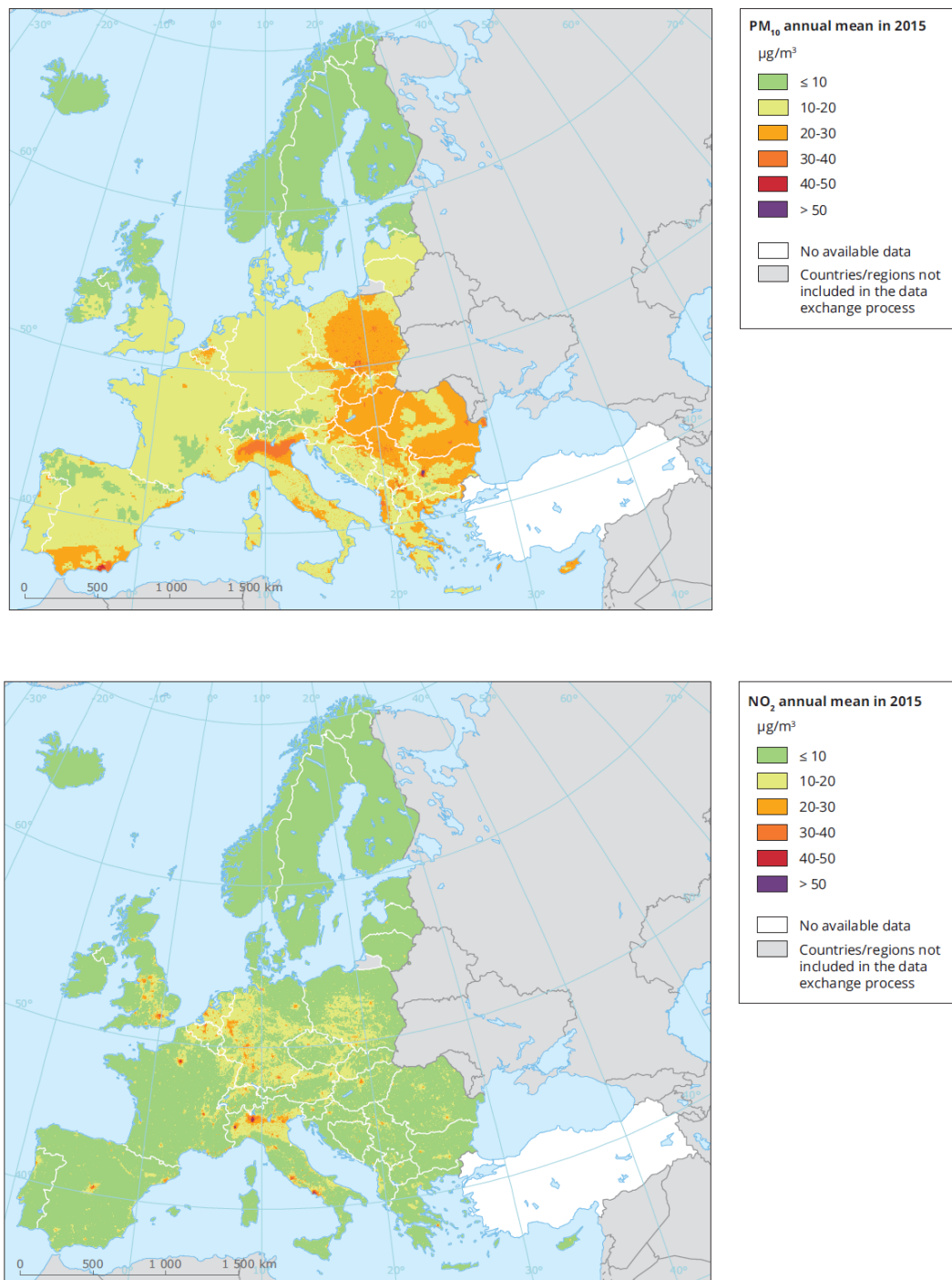


Figura 10: Nivells de PM₁₀ i NO₂ a l'Unió Europea a l'any 2015 [9]

Actualment hi ha ZBE en Brussel·les, Berlín, París, Milán, Lisboa, Barcelona i moltes més [10]. Totes tenen en comú que sobrepassen els límits establerts per la OMS, tal i com es pot apreciar a la Figura 10.

2.7 Situació a l'AMB

Donada la gravetat de la situació explicada anteriorment, s'ha realitzat un programa de mesures per tal de contrarrestar els efectes que hi ha actualment. La ciutat de Barcelona ha presentat un programa amb mesures concretes [11] per a vuit eixos:

- EIX 1: Zones d'intervenció ambiental especials. S'implementarà una zona de baixes emissions.
- EIX 2: Canvis en el model de ciutat com superilles i altres mesures per tal de reduir l'ús del vehicle privat i donar més espai per la mobilitat no motoritzada.
- EIX 3: Impuls del transport públic i no contaminant. Comporta un augment del transport públic i de la xarxa de carril bici.
- EIX 4: Programa RENOVE amb bescanvi al transport públic, gestió de la mobilitat a través de l'aparcament i renovació de flotes. S'impulsa el cotxe compartit, incentius per donar de baixa el vehicle, etc.
- EIX 5: Comunicació i divulgació per a la conscienciació de la ciutadania dels efectes nocius.
- EIX 6: Seguiment dels efectes sobre la salut.
- EIX 7: Impuls d'actuacions coordinades en el sector transports, marítim, indústria i mobilitat empreses per tal de poder actuar eficientment en casos d'episodis d'alta contaminació.
- EIX 8: Protocol d'actuació en episodis d'alta contaminació. Definició de quines actuacions són les més efectives si es dóna el cas.

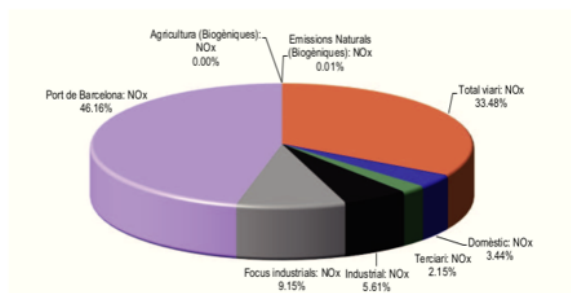
2.7.1 Immissions i emissions a la ciutat de Barcelona

Tot i que l'estudi es per l'àrea metropolitana de Barcelona, per falta de dades s'han agafat les de la ciutat de Barcelona, que compren la majoria de l'àrea total, per tal de veure la diferència que hi ha entre les emissions i les immissions. Aquí cal deixar clar els principals emissors de contaminants que són:

- El port del Barcelona, en concret els vaixells que hi circulen (un 96% aproximadament [12])
- Els vehicles amb motor de combustió interna que circulen per la ciutat
- Les indústries
- La contribució regional dels habitants

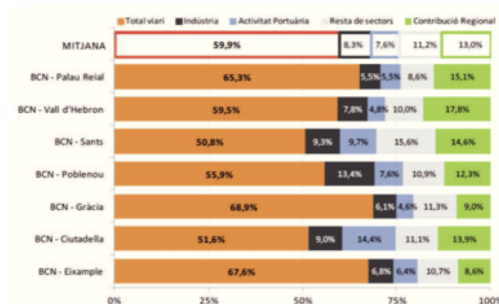
En la Figura 11 s'aprecia com el port és el principal emissor, seguit pels vehicles i a continuació per la indústria. No obstant, en les mesures d'immissió la contribució del port és molt més inferior. Aquest fet és degut a la dispersió que es produeix. Es pot veure fàcilment que a Ciutadella, zona pròxima al Port, la contribució d'aquest és considerablement major que en altres zones. Amb aquestes dades es pot afirmar que els nivells de contaminants d'una zona depenen molt de la proximitat dels emissors.

Fonts emissores d'NOx



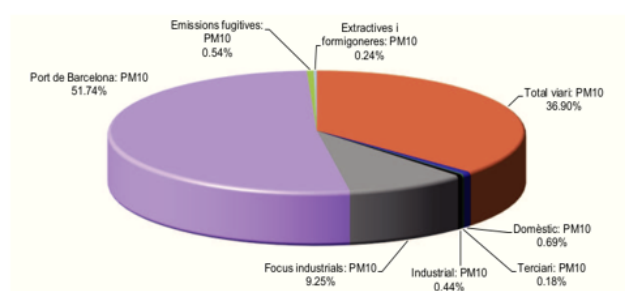
Gràfic 5. Distribució de les emissions d'NOx a Barcelona (2013), per un total de 12.014 tn. Font: PMQAB

Origen de les immissions. Mitjana i a diferents àmbits de la ciutat



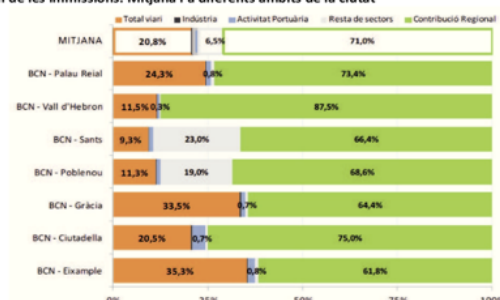
Gràfic 6. Origen de les immissions d'NO₂ segons sector (2013). Font: PMQAB

Fonts emissores de PM10



Gràfic 7. Distribució de les emissions de PM10 a Barcelona (2013), per un total de 977 tn. Font: PMQAB

Origen de les immissions. Mitjana i a diferents àmbits de la ciutat



Gràfic 8. Origen de les immissions de PM10 segons sector (2013). Font: PMQAB

Figura 11: Immissions i emissions de NO₂ i PM₁₀ a Barcelona l'any 2013 [11]

Les dades mostren com en el cas del NO₂ el principal responsable són els vehicles que circulen per la ciutat mentre que en el cas de les PM₁₀ la contribució regional és el principal emissor.

2.7.2 Zona de Baixes Emissions a l'AMB

En aquest treball es realitzarà un estudi de l'efectivitat de les mesures que s'han pres en l'EIX 1. En aquest s'implementa una zona de baixes emissions que inclou la part central de l'àrea metropolitana i una segona zona a l'interior de les Rondes, que en total representa una àrea de 95 km² [13], com es pot apreciar a la Figura 12.

Des de l'1 de gener de 2020 hi ha una prohibició permanent als vehicles més contaminants que són els que no tenen etiqueta ambiental de la DGT. Cal destacar que la prohibició és només per a dies laborables de 7h a 20h, horari de màxim tràfic i per tant màxima contaminació.

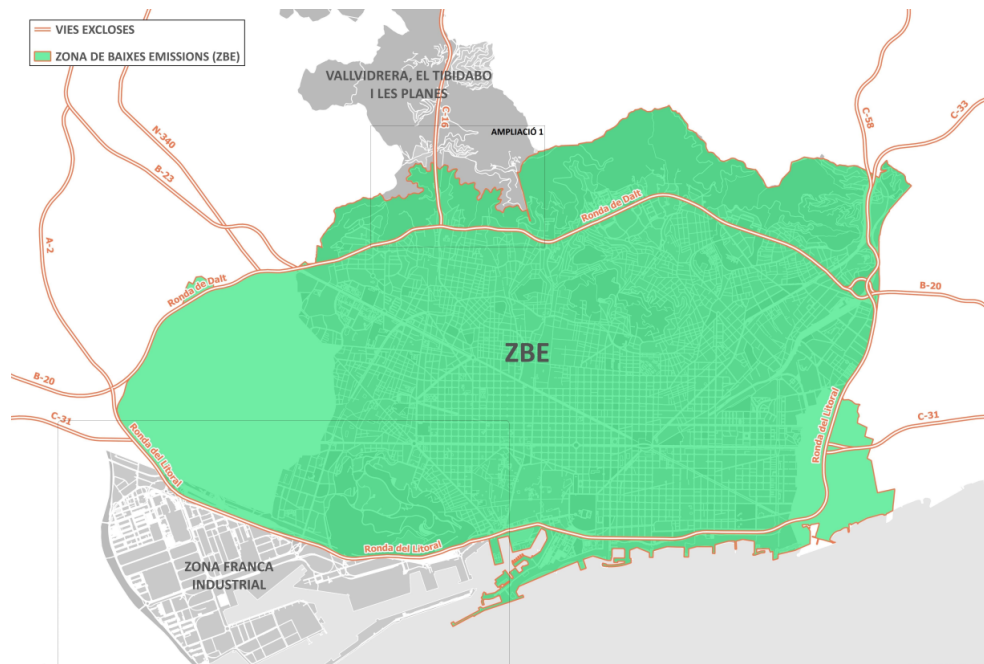


Figura 12: Mapa de la zona de baixes emissions

La Figura 13 mostra les estimacions que s'han fet sobre la tendència horària dels vehicles que circulin per l'AMB una vegada restringida la circulació serà la següent:

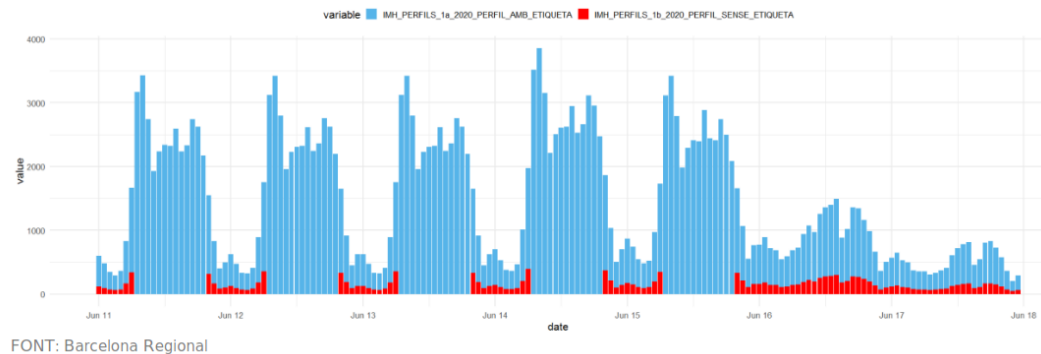


Figura 13: Circulació horària de vehicles amb i sense etiqueta (per una setmana) [14]

2.7.3 Sistema de restricció dels vehicles

En tot el territori espanyol s'ha implantat un sistema que assigna als vehicles una etiqueta en funció de la norma europea sobre emissions a la qual pertanyen. Són conegudes com etiquetes ambientals. Tots els vehicles que no entren dintre de cap de les 4 categories amb etiquetes ambientals tenen prohibida l'entrada en la zona de baixes emissions [15].



En aquesta categoria hi ha els vehicles de 0 emissions. Són els vehicles elèctrics de bateria (BEV), vehicles elèctrics d'autonomia extensa (REEV) i vehicles elèctrics híbrids endollables (PHEV) amb una autonomia mínima de 40 quilòmetres o vehicles de pila de combustible.



En aquesta categoria hi ha els vehicles híbrids endollables amb autonomia inferior a 40 km, vehicles híbrids no endollables (HEV i PHEV), vehicles propulsats per gas natural (GNC i GNL) o gas liquat del petroli (GLP). En qualsevol cas, han de complir els criteris de l'etiqueta C.



En aquesta categoria entren els vehicles de gasolina matriculats a partir de gener de 2006 i els dièsel a partir del 2014. És a dir, els gasolina han de complir la norma Euro 4 o superior mentre que els dièsel hauràn de complir la norma 6 o superior.



Aquesta és l'última categoria que té dret a distintiu. Inclou els vehicles de gasolina a partir de gener del 2000 i dièsel a partir de gener de 2006. La seva norma Euro equivalent és la Euro 3 per a gasolina i les Euro 4 i 5 per a dièsel.

La prohibició afecta a tots aquells vehicles de gasolina d'abans del 2000 i dièsel abans del 2006. Per a entendre millor aquestes restriccions es mostren les normes Euro que hi ha i quins límits de contaminants permeten.

Tipus	Data	CO	HC	NO _x	PM
Dièsel					
Euro 1	Juliol de 1992	2.72	-	-	0.14
Euro 2	Gener de 1996	1.0	-	-	0.08
Euro 3	Gener de 2000	0.64	-	0.5	0.05
Euro 4	Gener de 2005	0.50	-	0.25	0.025
Euro 5	Setembre de 2009	0.50	-	0.18	0.005
Euro 6	Setembre de 2014	0.50	-	0.08	0.005
Gasolina					
Euro 1	Juliol de 1992	2.72	-	-	-
Euro 2	Gener de 1996	2.20	-	-	-
Euro 3	Gener de 2000	2.30	0.20	0.15	-
Euro 4	Gener de 2005	1.0	0.10	0.08	-
Euro 5	Setembre de 2009	1.0	0.10	0.06	0.005
Euro 6	Setembre de 2014	1.0	0.10	0.06	0.005

Taula 6: Normes europees sobre emissions per a turismes, en g/km [16]

Amb aquesta taula s'aprecia com clarament la raó de la diferència d'anys entre el dièsel i gasolina és l'emissió de NO_x. Sis vehicles dièsel que compleixen la normativa Euro 6 contaminen menys NO_x que un que compleix la Euro 3. Els cotxes dièsel a partir del 2006, que compleixen

la norma Euro 4, generen com a màxim 0.25 g/km mentre que els cotxes de gasolina d'a partir del 2000, que compleixen la norma Euro 3, generen com a màxim 0.15 g/km de NO_x. També cal destacar, en referència al PM₁₀, com un turisme dièsel d'abans de l'any 2000 contamina com a mínim 10 vegades més que un cotxe posterior a l'any 2010.

En definitiva, s'aprecia que la implementació d'aquesta mesura té com únic objectiu reduir la quantitat d'òxids de nitrogen i partícules pesants, obviant els altres contaminants que també són perjudicials per a la salut.

Les estimacions realitzades per l'AMB en la Figura 14 mostren com en el conjunt dels 9 municipis hi haurà una reducció del NO_x del 6.3% en 2020 i del 15.6% en 2021 sense la moratòria comparat amb les dades del 2020 sense implementar les mesures. En el cas de les partícules pesants tenim una reducció del 11.7% i del 16.9% respectivament. Cal destacar que sense cap moratòria els nivells de contaminació és reduirien simplement per la renovació dels vehicles.

Emissions de NO_x per els diferents escenaris per municipi

Emissions NO _x (tn/any)	ESCENARI BASE 2017	2020 TENDENCIAL (sense ZBE)	2020_ZBE (amb MORATÒRIA)	2020_ZBE (sense MORATÒRIA)	2020 TENDENCIAL (sense ZBE)	2020_ZBE (amb MORATÒRIA)	2020_ZBE (sense MORATÒRIA)
BARCELONA	3.485,60	3.115,85	2.950,84	2.685,42	-10,6%	-15,3%	-23,0%
BADALONA	443,81	385,28	353,19	314,73	-13,2%	-20,4%	-29,1%
CORNELLÀ LLOBREGAT	266,14	233,70	214,40	189,10	-12,2%	-19,4%	-28,9%
ESPLUGUES DE LLOBREGAT	181,94	159,47	146,41	128,66	-12,4%	-19,5%	-29,3%
HOSPITALET DE LLOBREGAT, L'	423,19	367,30	336,51	298,94	-13,2%	-20,5%	-29,4%
PRAT DE LLOBREGAT, EL	373,69	331,77	304,08	268,66	-11,2%	-18,6%	-28,1%
SANT ADRIÀ DE BESÒS	154,07	133,67	122,72	107,89	-13,2%	-20,3%	-30,0%
SANT JUST DESVERN	54,24	48,51	44,46	39,33	-10,6%	-18,0%	-27,5%
SANTA COLOMA DE GRAMENET	112,75	97,37	89,28	79,18	-13,6%	-20,8%	-29,8%
BARCELONA i ELS 8 MUNICIPIS	5.495,41	4.872,92	4.561,90	4.111,91	-11,3%	-17,0%	-25,2%

FONT: Barcelona Regional. Percentatges de reducció respecte 2017

Emissions de PM₁₀ per els diferents escenaris per municipi

Emissions PM ₁₀ (tn/any)	ESCENARI BASE 2017	2020 TENDENCIAL (sense ZBE)	2020_ZBE (amb MORATÒRIA)	2020_ZBE (sense MORATÒRIA)	2020 TENDENCIAL (sense ZBE)	2020_ZBE (amb MORATÒRIA)	2020_ZBE (sense MORATÒRIA)
BARCELONA	208,09	189,95	170,01	161,07	-8,7%	-18,3%	-22,6%
BADALONA	22,69	20,02	17,00	15,75	-11,8%	-25,1%	-30,6%
CORNELLÀ LLOBREGAT	12,66	11,27	9,63	8,82	-10,9%	-23,9%	-30,3%
ESPLUGUES DE LLOBREGAT	9,45	8,49	7,38	6,86	-10,2%	-21,9%	-27,5%
HOSPITALET DE LLOBREGAT, L'	23,90	21,31	18,37	17,26	-10,9%	-23,1%	-27,8%
PRAT DE LLOBREGAT, EL	18,28	16,49	14,07	12,96	-9,8%	-23,0%	-29,1%
SANT ADRIÀ DE BESÒS	8,38	7,48	6,53	6,11	-10,7%	-22,0%	-27,1%
SANT JUST DESVERN	3,10	2,86	2,48	2,33	-7,8%	-20,0%	-24,7%
SANTA COLOMA DE GRAMENET	6,15	5,45	4,69	4,39	-11,5%	-23,8%	-28,7%
BARCELONA i ELS 8 MUNICIPIS	312,71	283,31	250,17	235,55	-9,4%	-20,0%	-24,7%

FONT: Barcelona Regional. Percentatges de reducció respecte 2017

Figura 14: Previsió d'emissions de NO_x i PM₁₀ a l'AMB [14]

2.7.4 La xarxa de vigilància i previsió de la qualitat de l'aire

Per tal d'avaluar la qualitat de l'aire, es va crear un sistema de detecció dels nivells d'immissió dels principals contaminants. Va ser creat per la Llei 22/1983, de 21 de novembre, definida per l'Ordre de 20 de juny de 1986 i actualment està adscrita administrativament al Departament de Territori i Sostenibilitat de Catalunya [17]. En aquest sistema hi ha uns aparells de mesura situats a diferents punts representatius d'una zona que mesuren la quantitat dels contaminants en l'aire. Les dades es mostren per hores del dia i queden emmagatzemades com a fitxers diaris

en l'ordinador de l'estació remota. Aquestes dades són públiques i són les que s'utilitzaran per a fer l'estudi en el segon bloc.

Els factors que es varen tenir en compte en el disseny de la xarxa són:

- El tipus i la distribució de les fonts emissores
- Les característiques meteorològiques de les zones
- Les característiques geogràfiques i orogràfiques
- La distribució dels receptors
- La demanda social
- La magnitud de la població afectada
- Els recursos especialment protegits o més vulnerables

Finalment, en la Figura 15 es pot visualitzar la situació de les estacions:



Figura 15: Situació de les estacions d'immissió a l'AMB [18]

A continuació, en la Figura 16 s'ha utilitzat un mapa de la zona que ocupa la ZBE per a veure quins són els punts que estan dintre d'aquesta:



Figura 16: Mapa amb els límits geogràfics de la ZBE [19]

En teoria només hi ha 9 estacions que estiguin dins del territori però s'han afegit Santa Coloma de Gramenet i l'Observatori Fabra ja que pràcticament podrien estar dins. Per tant es tenen 11 estacions en total. En l'annex hi ha una descripció en detall de totes les estacions de l'AMB. Finalment, es descriu cada estació:

Nom Estació	Situació geogràfica	Tipologia de l'estació
Barcelona (Poblenou)	Urbana	Fons
Barcelona (Ciutadella)	Urbana	Fons
Barcelona (Eixample)	Urbana	Trànsit
Barcelona (Gràcia - Sant Gervasi)	Urbana	Trànsit
Barcelona (Sants)	Urbana	Fons
Barcelona (Palau Reial)	Urbana	Fons
Barcelona (Parc Vall d'Hebron)	Urbana	Fons
L'Hospitalet de Llobregat	Urbana	Fons
Sant Adrià del Besòs	Urbana	Industrial
Santa Coloma de Gramenet	Urbana	Fons
Barcelona (Observatori Fabra)	Suburbana	Fons

Taula 7: Descripció de les estacions d'immissió de la ZBE

Com s'aprecia en la Taula 7, cada estació pot tenir una situació geogràfica i una tipologia diferent. A continuació s'expliquen en detall aquests paràmetres [20].

Primer, s'explica la situació geogràfica, que només pot prendre 2 valors:

- Àrea urbana: Àrea totalment construïda amb edificis d'almenys dos pisos, rodejada d'altres àrees urbanes i amb l'excepció dels parcs de la ciutat.
- Àrea suburbana: És un cas concret de l'àrea urbana però que en comptes d'estar rodejada totalment per àrees urbanes, es mescla amb àrees no urbanes com podrien ser boscs o llacs.

Per últim, hi ha tres tipus d'estacions diferents en funció del principal emissor de contaminació en aquella zona:

- Estació de tràfic: Els principals emissors de contaminació d'aquesta àrea són els vehicles, per tant zones on hi ha molt de tràfic degut a grans carreteres o autopistes.
- Estació de fons: Aquestes estacions no es veuen influenciades significativament per una sola font de contaminació, si no per la contribució de totes les diferents fonts emissores.
- Estació industrial: La font principal de contaminació són les indústries úniques properes a l'àrea o àrees industrials amb moltes fonts.

Aquestes diferenciacions permeten obtenir més informació sobre els valors d'immissió obtinguts i per tant obtenir unes millors conclusions. Cal destacar que aquests paràmetres fan referència a les emissions, mentre que els valors de les estacions són les immissions. No obstant, com s'ha vist en la Figura 11, les diferències no són molt significatives i per tant es pot considerar estudiar aquestes correlacions, sempre tenint en compte que s'està cometent un error i no són exactes.

3 Anàlisi de dades de l'AMB

La Generalitat de Catalunya disposa d'una web on es realitza l'obertura de dades públiques (open data) [21] amb la intenció de garantir la transparència, l'eficiència i la igualtat d'oportunitats a l'hora de crear valor. Entre aquestes dades estan les d'immissió dels punts de mesurament de la Xarxa de vigilància de tota Catalunya. Aquestes dades tenen una llicència Open Data Commons, per tant es poden utilitzar sense cap mena de restriccions.

L'objectiu d'aquest bloc és analitzar les dades dels contaminants principals en cada estació per avaluar l'evolució de les concentracions al llarg dels anys i comparar-les amb els llindars que estableix la OMS per avaluar si la salut de la ciutadania està en risc.

3.1 Eines

Actualment els anàlisis de dades, o *Data Science* en anglès, han adquirit un pes important en la cadena de valor de les empreses i dels governs. S'han creat eines que faciliten molt realitzar aquests anàlisis, i s'utilitzaran algunes de les eines més populars que hi ha.



S'utilitzarà Python 3 i les biblioteques que té enfocades al Data Science com podrien ser Pandas, Numpy o Matplotlib per tal de manipular les dades, realitzar càlculs i finalment obtenir gràfics.



L'entorn de desenvolupament del codi serà Jupyter Notebook, ja que la seva interfície és molt adequada per al tractament de dades per la possibilitat d'executar només una part del codi mantenint la resta de variables amb el mateix valor i veure el resultat d'aquesta part del codi.

3.2 Descripció de les dades

La pàgina disposa de més de 5 milions de registres, i cada dia augmenten ja que s'actualitzen les dades diàriament [22]. La pròpia pàgina web permet realitzar filtres per tal de descarregar únicament les dades necessàries. Una vegada seleccionades només les 11 estacions comentades anteriorment es disposa de la següent quantitat de dades:

- Al voltant de 620.000 registres per les dades històriques (inici del càlcul de les immissions de cada estació fins abril 2020)
- Al voltant de 30.000 registres pel conjunt de dades utilitzat per avaluar l'estat d'alarma (gener 2019 fins abril 2020)

S'ha de destacar que aquest número pot augmentar ja que cada dia s'afegeixen dades i com s'ha comentat aquestes són fins abril de l'any 2020.

3.3 Tractament de les dades

En aquest apartat s'explica quines modificacions s'han fet a les dades. S'han fet modificacions per a corregir errors en les dades i també s'han eliminat les dades innecessàries per tal de reduir el pes de l'arxiu CSV. Al principi tenia un pes de 175 MB i després del tractament de dades s'ha reduït fins als 99 MB.

Reducció de columnes

En total hi ha 69 columnes, això equival a que cada mesura (fila) disposa de 69 valors diferents que aporten una informació concreta. Cada mesura representa un dia i disposa del valor d'un contaminant en una estació concreta al llarg de les 24 hores del dia. Dit d'una altra forma, cada fila té 24 valors (columnes) que indiquen el valor d'un contaminant en una hora concreta del dia. De les 69, només aquestes 24 són les que aporten informació sobre els valors d'immissió. És per això que s'han eliminat aquelles columnes que no eren necessàries per a l'objectiu d'aquest bloc. En l'annex està la descripció de totes les columnes i quines d'aquestes s'han seleccionat. Finalment s'acaba passant de 69 a 34 columnes.

Reducció de files

S'ha estudiat el conjunt de dades per veure possibles errors o duplicats i tractar de solventar-los. L'error més important consisteix en l'obtenció de diferents noms per les estacions. S'ha trobat que una estació rep més d'un nom ja que primer s'utilitzava un però a partir d'un cert any es va canviar per un altre. En total hi ha 5 estacions amb aquest problema. Per exemple en el cas de L'Hospitalet de Llobregat disposem dels següents noms:

Nom	Interval d'anys
Hospitalet de Llobregat	1991 - 2019
L'Hospitalet de Llobregat	2018 - present

Per a corregir aquest error s'ha triat un nom únic a cada una de les estacions. Com es pot veure al cas de L'Hospitalet, els anys es superposen (2018 i 2019) i s'ha comprovat que hi ha duplicats per aquest canvi i també per altres causes desconegudes. Per tal d'eliminar aquests duplicats s'ha plantejat quins són els paràmetres que defineixen una fila. Una mesura és única a partir de 3 paràmetres:

Una mesura és única a partir de 3 paràmetres:

- Nom de l'estació
- Contaminant
- Data

Cada fila ens aporta el valor d'un contaminant en una estació concreta durant un dia concret. Aquests 3 paràmetres representen 3 columnes i són els imprescindibles per tal d'evitar mesures duplicades. Per tant amb la mateixa biblioteca de Pandas s'han filtrat totes aquelles mesures on aquests tres paràmetres coincideixin. S'han trobat més errors puntuals però aquests són els més importants.

Una vegada s'han tractat les dades, es guarda el Dataframe creat amb Pandas com un nou conjunt de dades CSV que serà el que s'utilitzarà per a realitzar els gràfics posteriors.

3.4 Anàlisi previ de les dades

Una vegada s'han tractat les dades per eliminar duplicats i errors, s'estudien els paràmetres que seran necessaris per a realitzar els gràfics. Hi ha 2 paràmetres interessants a estudiar:

- Número de contaminants en cada estació
- Línia de temps de cada estació

Contaminants de cada estació

En aquesta part del capítol s'analitzen quins contaminants mesura cada estació per tal d'agafar només aquells que permetin fer un anàlisi de dades fiable. En total hi ha 13 tipus de contaminant:

- C_6H_6 , Cl_2 , CO , H_2S , Hg , NO , NO_2 , NO_x , PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_{10} , O_3 , SO_2

Mirar per a cada estació tots els contaminants únics no és una bona opció ja que en certes estacions es solien mesurar certs contaminants durant fa molts anys que posteriorment es van eliminar de l'anàlisi diari. Per això s'han considerat els contaminants que apareixen en el visualitzador web, és a dir, els contaminants que es mesuren actualment. La interfície es pot veure a la Figura 17. La Posteriorment s'ha revisat en les dades que aquesta hipòtesi era correcta i que aquests mateixos contaminants tenen dades pels anys anteriors.

Qualitat de l'aire actual

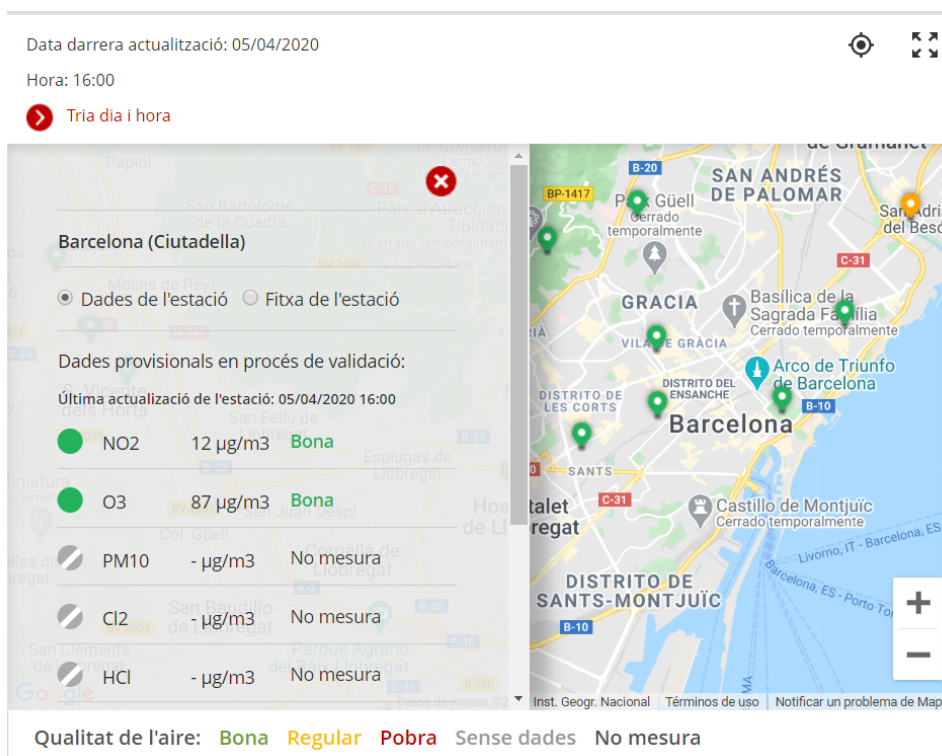


Figura 17: Mapa qualitat de l'aire a Catalunya [19]

Finalment, els contaminants de cada estació són els següents:

- Barcelona (Poblenou): NO , NO_2 , NO_x , PM_{10}
- Barcelona (Ciutadella): NO , NO_2 , NO_x , O_3

- Barcelona (Eixample): CO, NO, NO₂, NO_x, O₃, PM₁₀, SO₂
- Barcelona (Gràcia – Sant Gervasi): CO, NO, NO₂, NO_x, O₃, PM₁₀, SO₂
- Barcelona (Sants): NO, NO₂, NO_x
- Barcelona (Palau Reial): CO, NO, NO₂, NO_x, O₃, PM₁₀, SO₂
- Barcelona (Parc Vall Hebron): CO, NO, NO₂, NO_x, O₃, PM₁₀, SO₂
- L'Hospitalet de Llobregat: NO, NO₂, NO_x, PM₁₀
- Sant Adrià de Besòs: NO, NO₂, NO_x, O₃, PM₁₀
- Santa Coloma de Gramenet: NO, NO₂, NO_x
- Barcelona (Observatori Fabra): NO, NO₂, NO_x, O₃, PM₁₀

A l'hora d'analitzar els contaminants, atès que no es tenen els líndars del NO_x i el NO dictats per la OMS, no es consideraran per a l'estudi. A més, cal destacar que el NO₂ és el més representatiu d'aquests 3.

Línia de temps de cada estació

En aquest cas s'analitzarà quan es van començar a mesurar dades en cada estació, ja que en el cas de trobar diferències molt significatives caldria replantejar quines estacions es consideren. Analitzant les dades s'obtenen aquests intervals per a cada estació:

- Barcelona (Poblenou): 1991 - present
- Barcelona (Ciutadella): 1999 - present
- Barcelona (Eixample): 1996 - present
- Barcelona (Gràcia – Sant Gervasi): 1997 - present
- Barcelona (Sants): 1993 - present
- Barcelona (Palau Reial): 1999 - present
- Barcelona (Parc Vall Hebron): 1999 - present
- L'Hospitalet de Llobregat: 1991 - present
- Sant Adrià de Besòs: 1991 - present
- Santa Coloma de Gramenet: 1996 - present
- Barcelona (Observatori Fabra): 2018 - present

Tenint en compte que l'estació de l'Observatori Fabra està fora de la ZBE i que només hi ha dades per als últims 3 anys, s'ha decidit no considerar-la per a l'estudi d'aquesta part. Conseqüentment s'analitzaran únicament les dades de 10 estacions.

Per últim, en la Taula 8 es realitza un recompte de quantes estacions tenen un contaminant:

Contaminant	CO	NO ₂	O ₃	PM ₁₀	SO ₂
Número d'estacions	4	10	6	7	4

Taula 8: Recompte d'estacions per cada contaminant

3.5 Filtres aplicats a les dades

En aquest capítol es farà una breu descripció de certs filtres que s'han aplicat al codi i que són rellevants mencionar-los. Cal destacar que es pot consultar el codi en el material addicional. En total hi ha 8 scripts de Jupyter Notebook, dels quals dos són per al tractament de dades i els 6 restants per obtenir els gràfics que es mostraran en els següents capítols.

Classificació en dies laborables i no laborables

Per tal d'observar tendències temporals s'ha realitzat una classificació en dies laborables i no laborables. Un dia es considera no laborable si és dia festiu o cap de setmana. Els dies festius que s'han considerat són els següents:

Data	Nom	Tipus de Festiu
1 de Gener	Any Nou	Estatal
6 de Gener	Reis	Estatal
10 d'Abril*	Divendres Sant	Estatal
13 d'Abril*	Dilluns de Pasqua Florida	Autonòmica
1 de Maig	Festa del Treball	Estatal
1 de Juny*	Dilluns de Pasqua Granada	Local
24 de Juny	Sant Joan	Autonòmica
15 d'Agost de Gener	Mare de Déu d'Agost	Estatal
11 de Setembre	Diada Nacional de Catalunya	Autonòmica
24 de Setembre	Mare de Déu de la Mercè	Local
12 d'Octubre	Festa Nacional d'Espanya	Estatal
8 de Desembre	La Immaculada	Estatal
25 de Desembre	Nadal	Estatal
31 de Desembre	Cap d'any	Estatal

Taula 9: Dies no laborables [23]

*El dia varia en funció de l'any ja que depen del calendari lunar. Hi ha una funció auxiliar al codi que calcula aquest dia en funció de l'any.

Eliminació de dades amb pocs registres

Es donen certs casos on hi ha pocs registres que es diferencien molt de la resta. S'han considerat certes restriccions per assegurar un mínim de registres:

- Un dia que consta de 24 dades (una per a cada hora), ha de tenir com a mínim 10 dades.
- Un any, de 365 o 366 dies, ha de tenir dades de com a mínim 200 dies.
- Ha d'haver un mínim de 120 dies en els dies laborables d'un any.
- Ha d'haver un mínim de 50 dies en els dies no laborables d'un any.

3.6 Anàlisi de les dades històriques

3.6.1 Tipus de gràfics

Es realitzaran 4 tipus de gràfics diferents per a mostrar la màxima informació dels 5 contaminants. Donat que hi ha moltes estacions, sempre que sigui possible pels gràfics de línies s'intentarà fer que hi hagi un únic gràfic amb totes les estacions en comptes de tenir-ne un per a cada estació. Això serà possible quan totes les estacions tinguin la mateixa tendència i per tant siguin fàcils de visualitzar. A continuació es farà un breu resum dels tipus de gràfics que s'utilitzaran.

Evolució de la mitjana anual

En els gràfics com la Figura 18 es mostra la mitjana anual d'un contaminant i es mostra la seva evolució des de quan es disposen dades fins a l'època actual. Sempre que sigui possible, s'afegirà el límit recomanat per la OMS que no hauria de superar el contaminant.

Per tal d'obtenir una visió més detallada també s'afegiran les mitjanes dels anys però únicament dels dies laborables i dels dies no laborables. No obstant, cal tenir en compte que per a comparar el límit anual recomanat per la OMS s'haurà de fer amb la mitjana de tots els dies laborables.

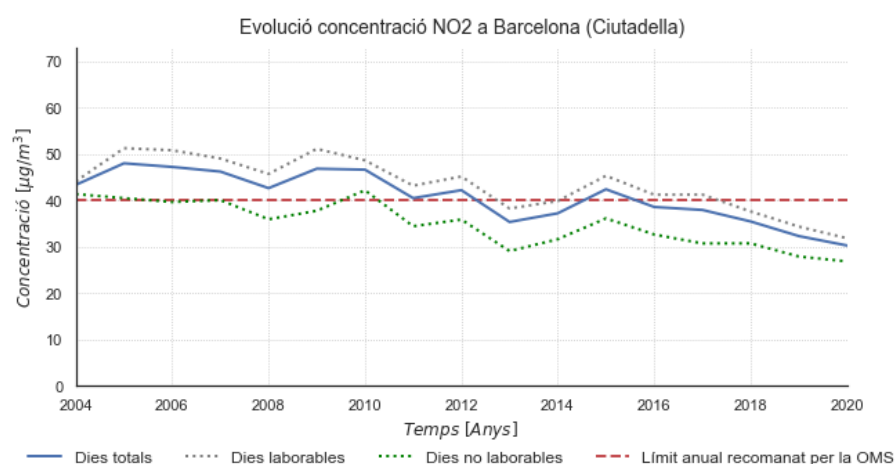


Figura 18: Exemple gràfic de l'evolució de la mitjana anual en les dades històriques

Distribució horària de la mitjana anual

En els gràfics similars a la Figura 19 es mostra per un any concret la mitjana anual per les diferents hores del dia. Així s'aconsegueix veure com varia al llarg del dia i també, al ser mitjanes anuals, permet comparar-les amb els valors líndiar per tal d'observar si es supera aquest límit. De nou, s'afegiran les mitjanes dels dies laborables i dels dies no laborables per obtenir un millor context.

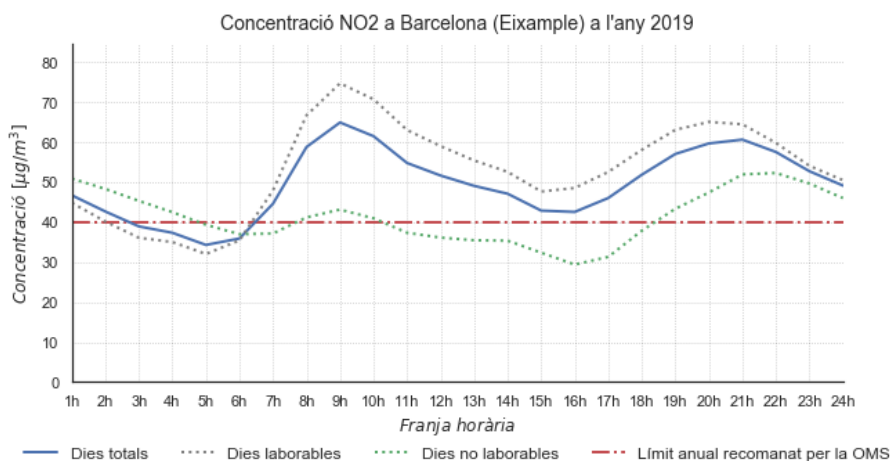


Figura 19: Exemple de la distribució horària de la mitjana anual en les dades històriques

Distribució mensual i setmanal de la concentració

En aquest cas es mostren dos gràfics amb l'objectiu d'identificar quina és la tendència dels nivells de contaminació al llarg dels mesos de l'any i al llarg de la setmana. Un exemple és la Figura 20.

- En el primer gràfic estan les mitjanes mensuals de la concentració.
- En el segon gràfic hi ha la mitjana anual de cada dia de la setmana (per exemple el dia 1 representa la mitjana de tots els dilluns de l'any 2019, i així successivament).

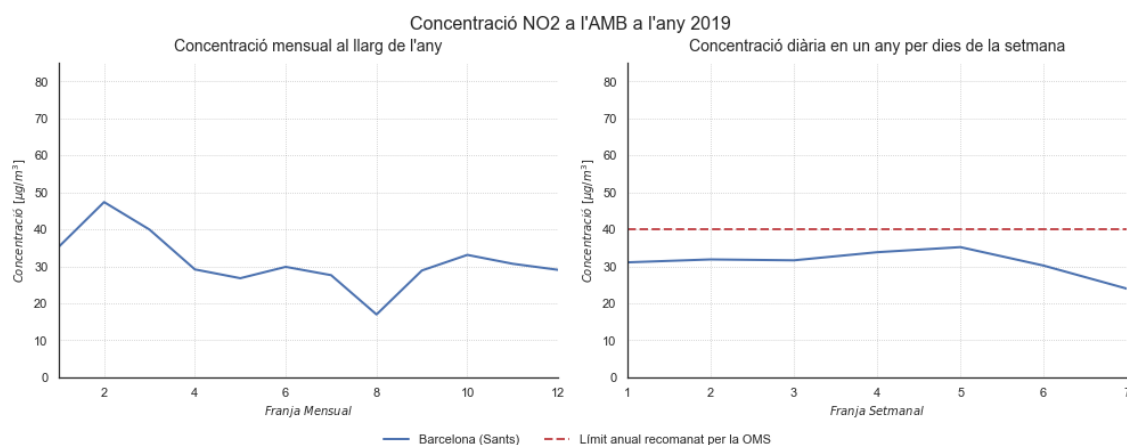


Figura 20: Exemple de la distribució mensual i setmanal de la concentració en les dades històriques

En aquest cas no s'ha fet la separació per dies laborables i no laborables ja que l'objectiu es només obtenir una idea general. En cas d'obtenir resultats que puguin ser diferents dels comuns (com obtenir una concentració més alta els caps de setmana que en la resta de la setmana) es procedirà a investigar aquesta causa.

Superació del llindar de curt termini anualment

Per últim es realitzarà un gràfic de barres pensat per als llindars de curt termini. Aquests depenen de cada contaminant i poden ser mitjanes de 24 hores, 8 hores o 1 hora. D'aquesta manera, es pot saber si en un dia s'ha superat aquest llindar i calular el nombre de dies que s'ha superat en un any concret. Per tant s'aporta informació de la mateixa manera que el primer gràfic però per als llindars de curt termini.

Hi ha certs anys que no disposen de dades. Per evitar confrondre'ls amb anys on no es supera cap dia el llindar màxim, s'ha afegit un text vertical on s'indica que per aquell any no hi ha dades. A continuació es mostra un exemple en la Figura 21.

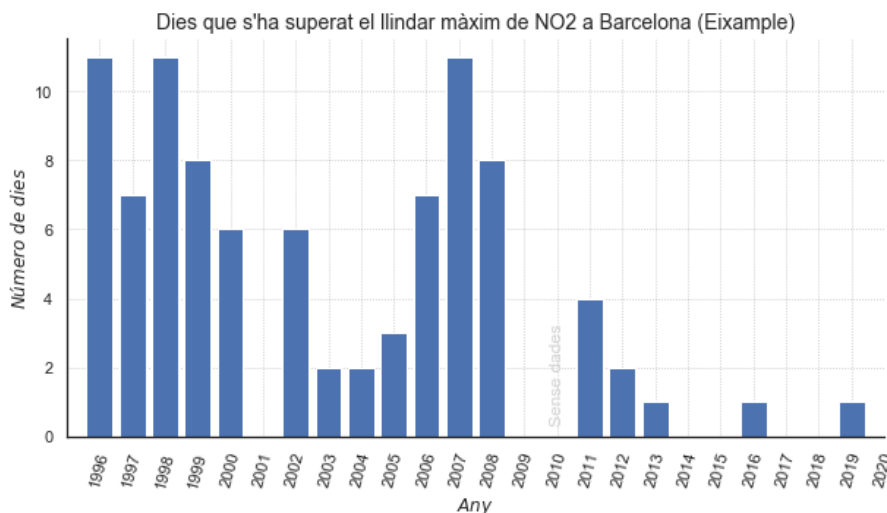


Figura 21: Exemple de la superació del llindar de curt termini en les dades històriques

3.6.2 Anàlisi NO₂

Com s'ha vist en el bloc anterior, el NO₂ ha sigut el contaminant amb més protagonisme. És un dels contaminants més abundants i que en els últims anys ha superat el llindar que estableix la OMS. De fet, és la raó principal de la implantació de la zona de baixes emissions. Per tant, primer es mostren els llindars que estableix la OMS i a continuació es mostraran els gràfics corresponents.

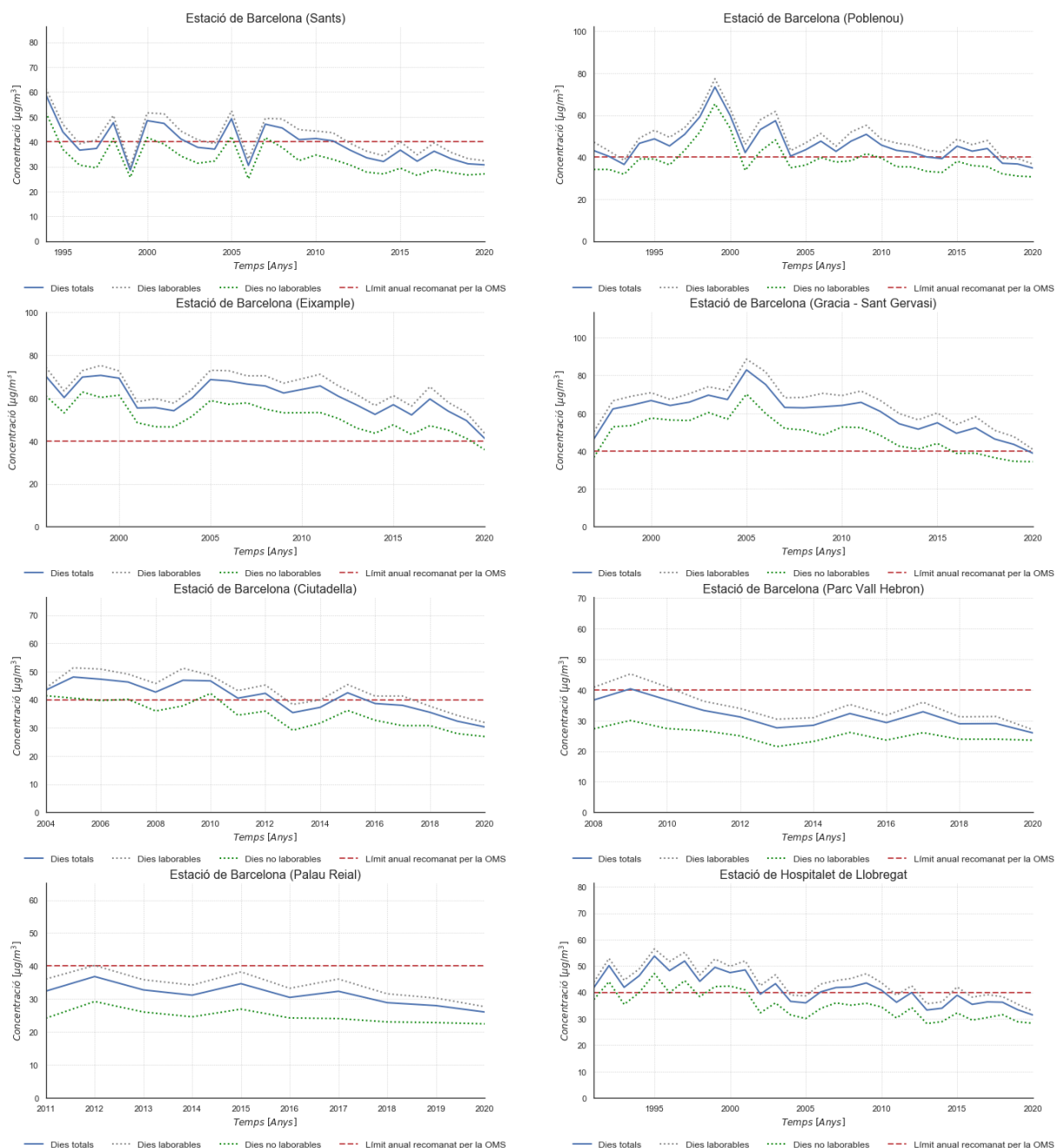
Mitjana anual	40 µg/m ³
Mitjana en 1 hora	200 µg/m ³

El NO₂ és el contaminant més comú i també el que més s'estudia. Cada una de les 10 estacions d'aquest estudi mesura aquest contaminant. En relació a la tipologia de les estacions, 7 són de fons, 2 són de trànsit i per últim hi ha 1 estació de tipus industrial. Donada l'exclusió de l'estació de l'Observatori Fabra de Barcelona totes estan situades en àrees urbanes.

Evolució anual

Començant per l'evolució de la mitjana anual, el llindar establert per la OMS de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ és anual, per tant s'ha afegit a la Figura 22 per tal d'avaluar millor els resultats. Donada la variabilitat entre estacions, per interpretar millor els resultats s'han realitzat en gràfics independents. És important destacar que l'eix horitzontal varia per cada gràfic, ja que cada estació disposa de dades a partir d'un cert any.

Evolució concentració anual de NO₂ a l'Àrea Metropolitana de Barcelona



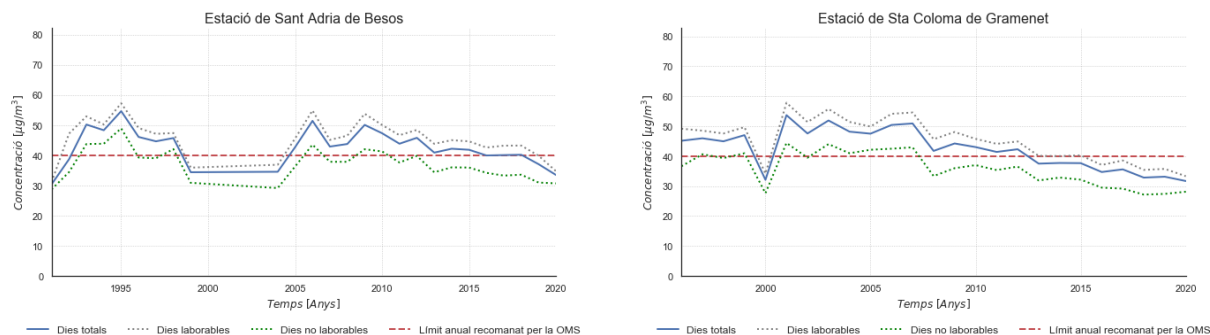


Figura 22: Evolució anual històrica del NO₂

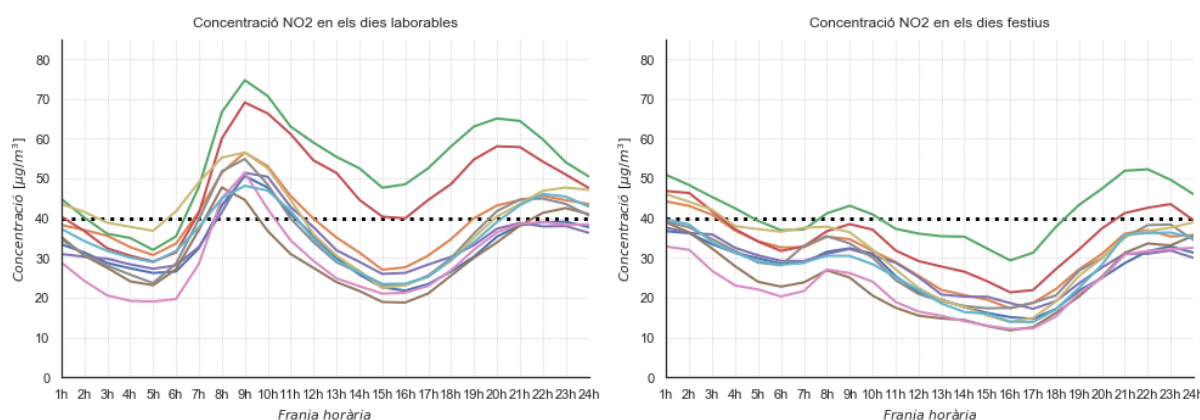
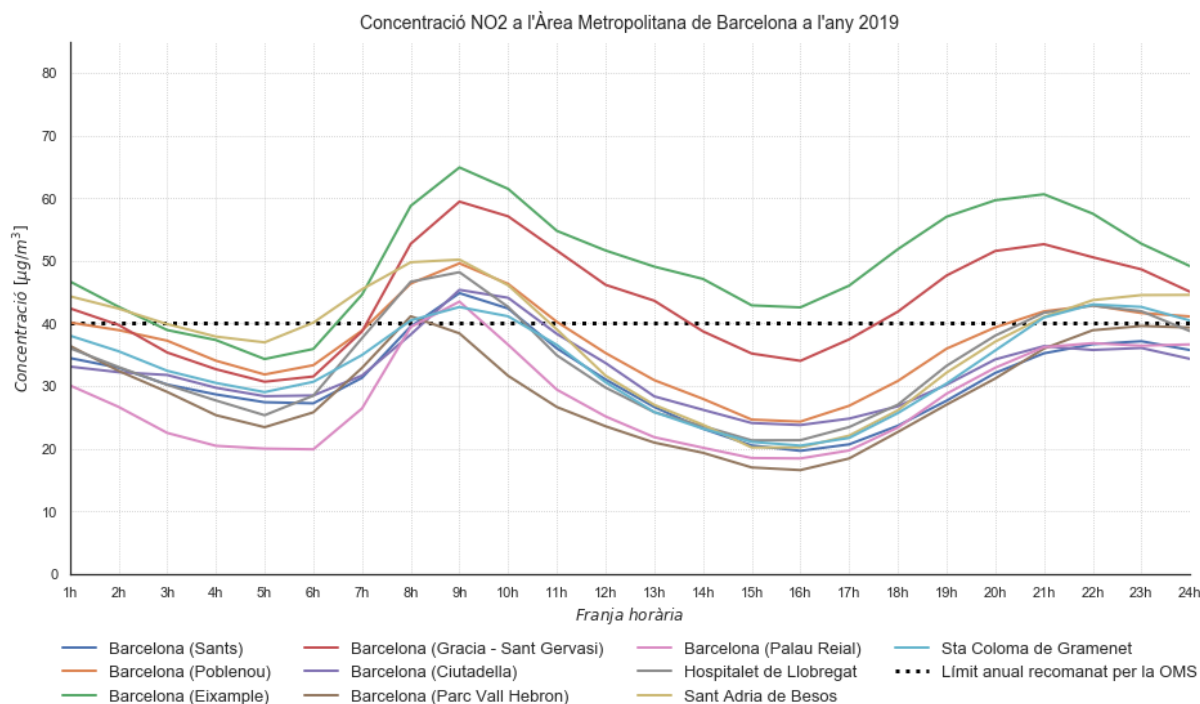
En general en totes les estacions s'aprecia una tendència de reducció de la mitjana anual, tant en els dies laborables com en els dies no laborables. Aquesta tendència és molt positiva ja que en anys anteriors era comú superar el llindar establert per la OMS, fins i tot en els dies festius. Tot i així, en els últims anys el límit està entorn al màxim i en cas de que la tendència canviï fàcilment es tornarà a superar aquest llindar.

Hi ha dos estacions que destaquen per la resta, i són les de l'Eixample i Gràcia – Sant Gervasi. Aquestes dos estacions són les de tràfic, per tant es veu com un major tràfic implica una contaminació major. Són les úniques que s'han mantingut sempre per sobre del límit saludable, i si no fos per l'excepcionalitat de la COVID-19, la mitjana de l'any 2020 seguiria sent major al límit. Les estacions de fons i la industrial en general la mitjana anual està per sota del valor crític, tot i que si es tenen en compte només els dies laborables encara els nivells són bastant elevats.

La diferència de contaminació entre els dies laborables i els no laborables és d'entorn de 10 µg/m³, tot i que en les estacions de tràfic aquest valor augmenta fins al 20 µg/m³, per tant tenint en compte la influència del tràfic en cada tipus d'estació, queda clar que el tràfic és el principal emissor de NO₂.

Distribució horària

A continuació es segueix amb l'evolució horària de les immissions del NO₂. S'utilitzarà l'any 2019 ja que són les dades més recents que contenen les mesures per a tots els mesos de l'any, i per tant les que més s'aproximen a la realitat. Com que tots els gràfics segueixen la mateixa tendència, per a realitzar la Figura 23 s'han fet 3 gràfics tenint en compte els dies totals, laborables i no laborables.


Figura 23: Distribució horària del NO₂ a l'any 2019

A primera vista s'aprecia que el gràfic que té en compte tots els dies de l'any segueix el mateix patró que el gràfic dels dies laborables, per tant són els que tenen un pes més important en el valor final. Tenint en compte que hi ha més dies laborables que no laborables, i que el valor absolut de la immissió en un dia laborable és més elevada, és raonable obtenir aquests resultats.

Les estacions de trànsit de nou tornen a ser les que tenen la mitjana més alta durant les hores amb llum natural. En les hores nocturnes l'estació de Sant Adrià del Besos (industrial) en els dies laborables supera a les estacions de trànsit, probablement a causa de l'activitat de la indústria i el tràfic de camions durant la nit.

Analitzant el gràfic de dies laborables, durant el dia laborable els valors són altíssims, a l'Eixample gairebé es duplica el valor límit en hora punta. Una vegada es passa l' hora punta del

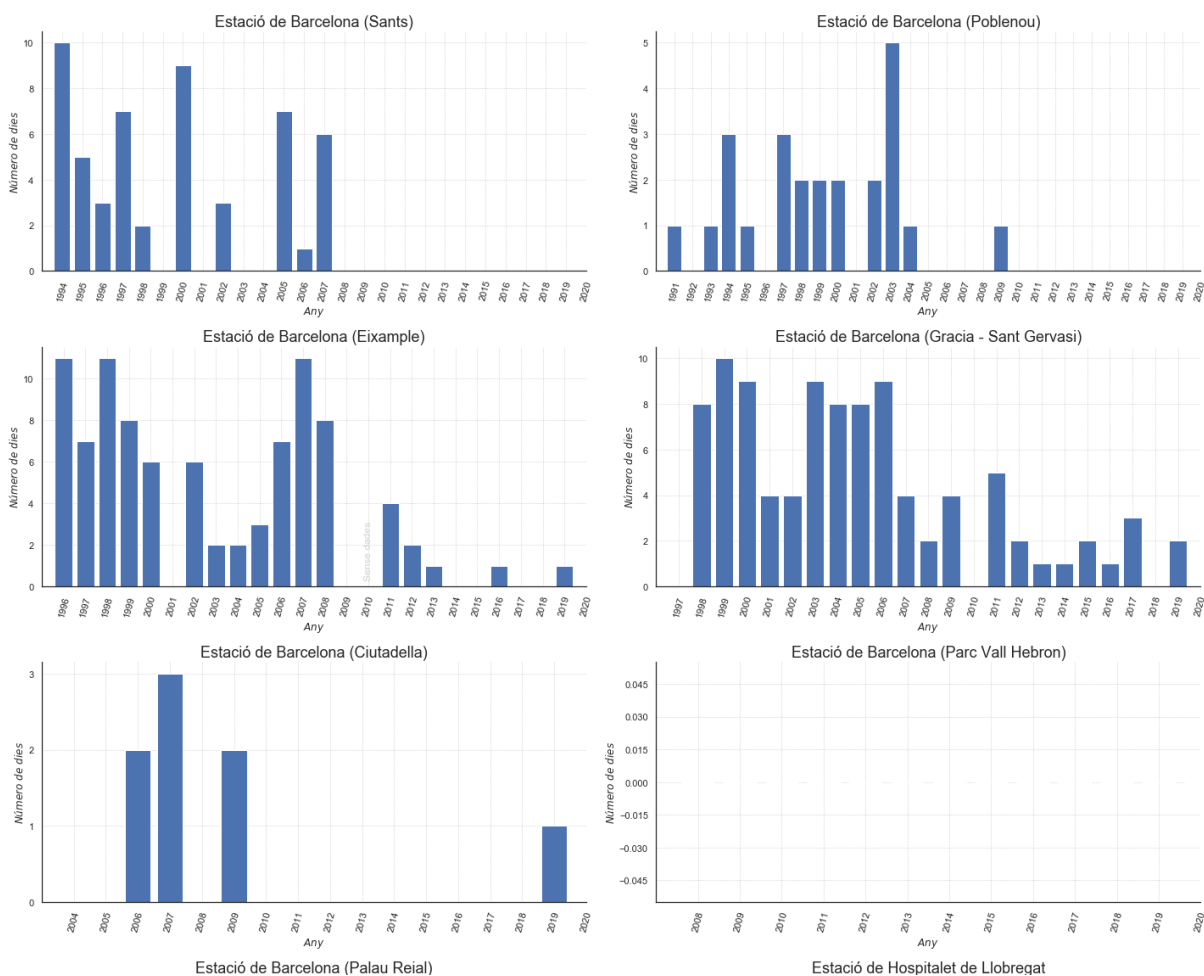
matí baixen molts els valors i posteriorment tornen a pujar en l'hora punta de la tarda. Les estacions de trànsit a partir de les 21h baixa molt el seu valor mentre que a la resta es mantenen alts, mostra de que el tràfic en aquestes àrees baixa. Això porta a pensar que una part important del tràfic d'aquestes àrees prové de fora de l'àrea metropolitana.

El gràfic de dies no laborables varia molt en comparació amb l'anterior. Aquí s'aprecia com durant la majoria del dia s'està per sota del límit de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. No obstant, en les hores nocturnes es sobrepassa aquest valor, per tant tot i ser un dia festiu la mitjana no és tan baixa com es podria esperar.

Superació del llindar de curt termini

Fins ara s'ha utilitzat el llindar d'un any per avaluar la qualitat de l'aire. En aquests cas s'utilitzarà el de curt termini, que estableix que no s'ha de superar la mitjana d'una hora de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Si en alguna hora del dia s'ha superat el límit es considera per al càlcul de dies totals en un any. Cal destacar que algunes estacions disposen de més anys que d'altres, per tant per disposar d'un gràfic de la mateixa mida les barres són més grans per aquelles estacions amb menys anys. A continuació es mostra el resultat en la Figura 24:

Número de dies que s'ha superat el llindar màxim horari de NO₂ a l'Àrea Metropolitana de Barcelona



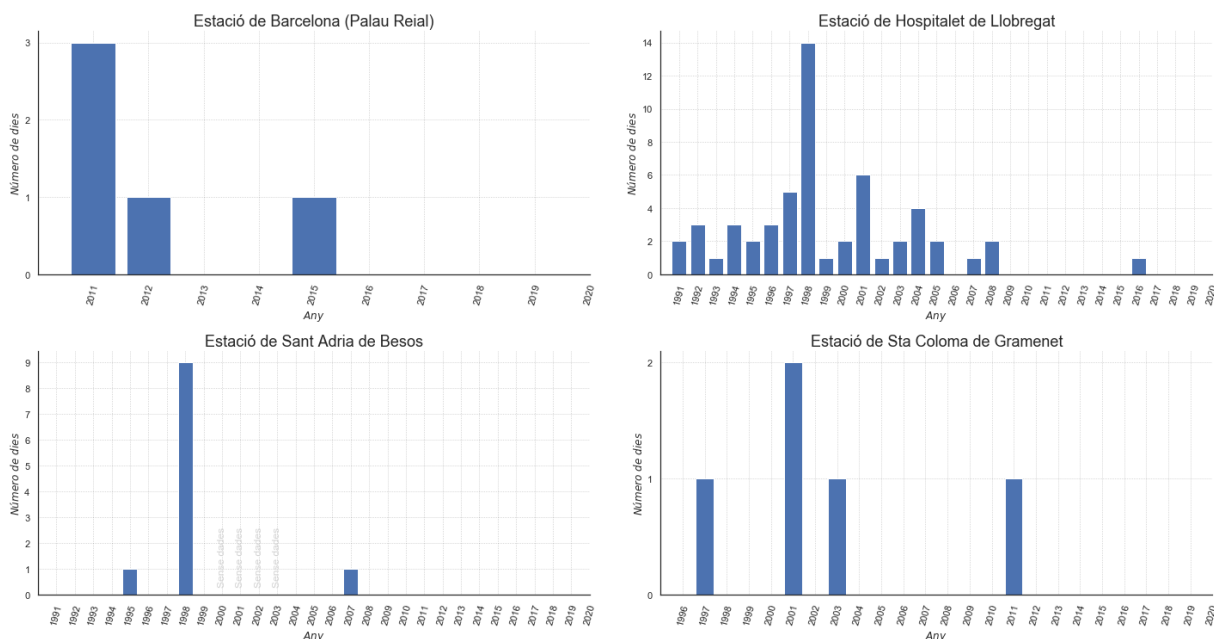


Figura 24: Dies en els qual s'ha superat el llindar de curt termini de NO₂

En aquests cas hi ha bastantes diferències entre estacions. Sí que s'aprecia que en els últims 5 anys, excepte per les estacions de tràfic i un cas en Hospitalet de Llobregat, no es sobrepassa el límit de curt termini. Com era d'esperar, en les estacions de trànsit encara es supera aquest valor alguns dies a l'any. Tot i així, només sol produir-se puntualment ja que passa 2 o 3 dels 365 dies de l'any, per tant no és un problema greu. En general, a partir del 2007-2008 s'ha millorat molt en aquest aspecte i el problema es centra en la mitjana anual en comptes de la horària.

Distribució mensual i setmanal

Per últim s'analitzen els gràfics de l'evolució mensual de la concentració i la mitjana per dies de la setmana en la Figura 25. De nou, s'han utilitzat les dades del 2019 al ser les més recents. En el segon gràfic s'ha afegit la mitjana anual ja que les mitjanes es fan per un any.

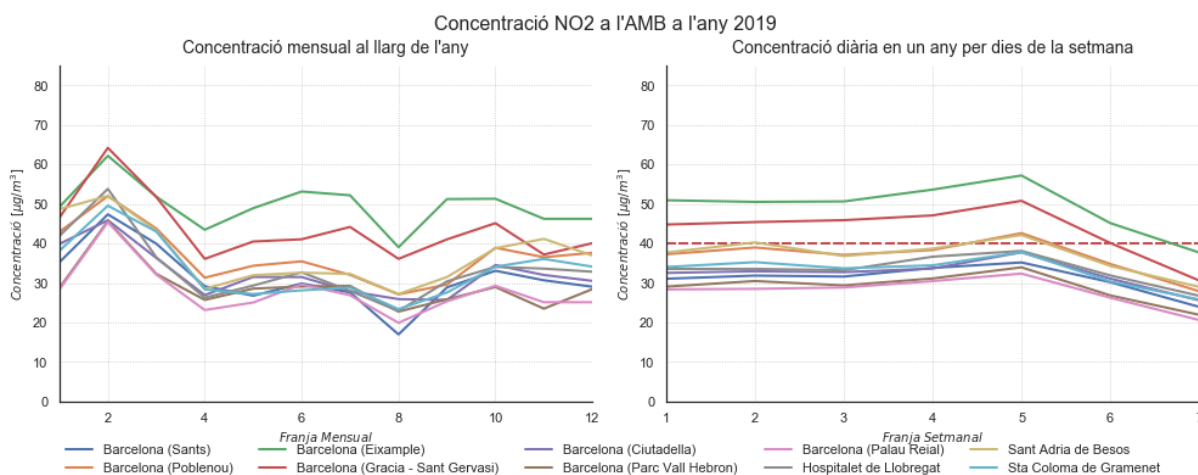


Figura 25: Distribució setmanal i mensual del NO₂

Començant pel primer gràfic es veu una notable baixada a l'Abril i l'Agost. Aquests períodes coincideixen amb les vacances de setmana santa i les vacances d'estiu. Per tant són períodes que tot i considerar-se laborables (exceptuant els dies que es consideren festius com la Pasqua), la majoria de les persones està de vacances i conseqüentment el tràfic és menor.

El segon gràfic és bastant monòton i només es veu una baixada de la mitjana durant els caps de setmana, en especial els diumenges, com s'hauria d'esperar.

3.6.3 Anàlisi PM₁₀

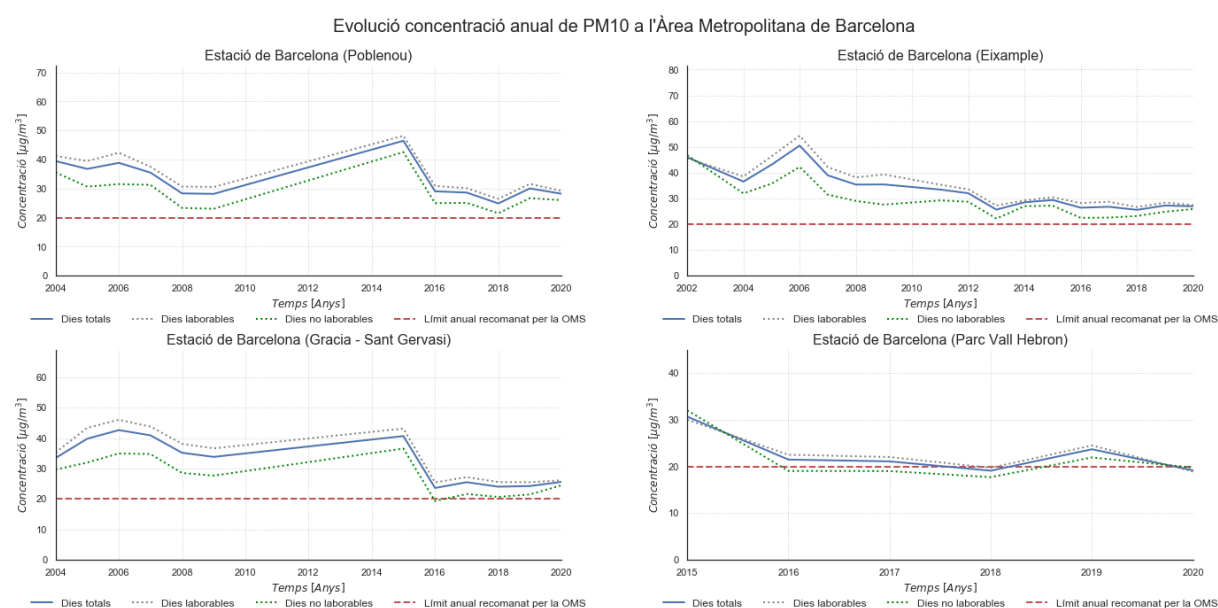
Tot i que el contaminant més estudiat és el NO₂, les partícules sòlides també suposen un seriós problema a afrontar. Cal recordar que són les més perjudicials per a la salut. Les estacions de Barcelona només mesuren les partícules contaminants amb un diàmetre de 10 micres o menys, per tant no es pot mirar pel cas de PM_{2.5}, que són inclús més perilloses per a salut de la població. A continuació es mostren els llindars que estableix la OMS:

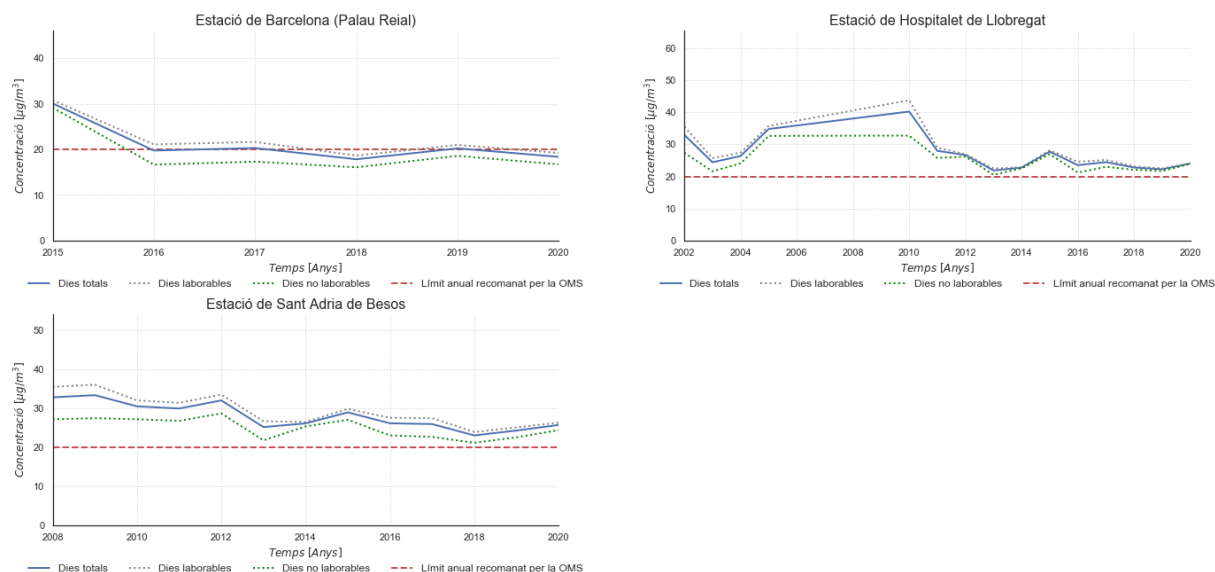
Mitjana anual	20 µg/m ³
Mitjana diària	50 µg/m ³

Es pot afirmar que després del NO₂, el PM₁₀ és el contaminant que més s'ha d'estudiar i plantejar mesures per tal de reduir la seva concentració en l'aire. En aquest cas hi ha 7 estacions que mesuren aquest contaminant. Hi ha dos estacions de tràfic (l'Eixample i Gràcia – Sant Gervasi), una estació industrial (Sant Adrià del Besòs) i per últim 4 estacions de fons.

Evolució anual

De nou, es comença amb els gràfics de l'evolució de la mitjana anual. En aquest cas el llindar establert per la OMS és de 20 µg /m³. En la Figura 26 es disposa de 7 gràfics, un per a cada estació, amb la mateixa estructura que la visualitzada en el cas del NO₂.



Figura 26: Evolució anual del PM₁₀

Primerament, s'aprecia que gairebé totes les estacions mesuren valors per sobre del límit establert per la OMS. També és apreciable que per cada estació la tendència de pujar o baixar és la mateixa siguin dies laborables com festius. Excepte per Palau Reial i el Parc de Vall d'Hebron al 2018 mai s'han obtingut mitjanes anuals per sota d'aquest llindar. De fet, fins i tot si es té en compte exclusivament els dies festius la majoria de les estacions tenen mitjanes superiors. Aquests valors són encara més preocupants si es té en compte que podria tornar a pujar la mitjana anual, que ja va passar en àrees com Poblenou, Gràcia- Sant Gervasi o L'Hospitalet de Llobregat.

Donada la similitud dels gràfics de Gràcia – Sant Gervasi, l'Eixample i Poblenou, i tenint en compte que les primeres dos són estacions de tràfic i la tercera de fons, s'aprecia com el tràfic no té molta influència sobre els valors d'immissió del PM₁₀.

Una observació interessant és la diferència de concentracions entre els dies laborables i no laborables. Tot i que no es produeix sempre, sí que s'aprecia que aquesta diferència amb els anys ha anat disminuint. Tot i així, en els dies laborables la mitjana sempre s'ha mantingut amb un valor més elevat.

Distribució horària

Seguidament es té el gràfic de l'evolució horària de les immissions en la Figura 27. S'utilitza l'any 2019 per les mateixes raons expressades abans. A continuació es representen els 3 gràfics en referència als dies totals, laborables i no laborables:

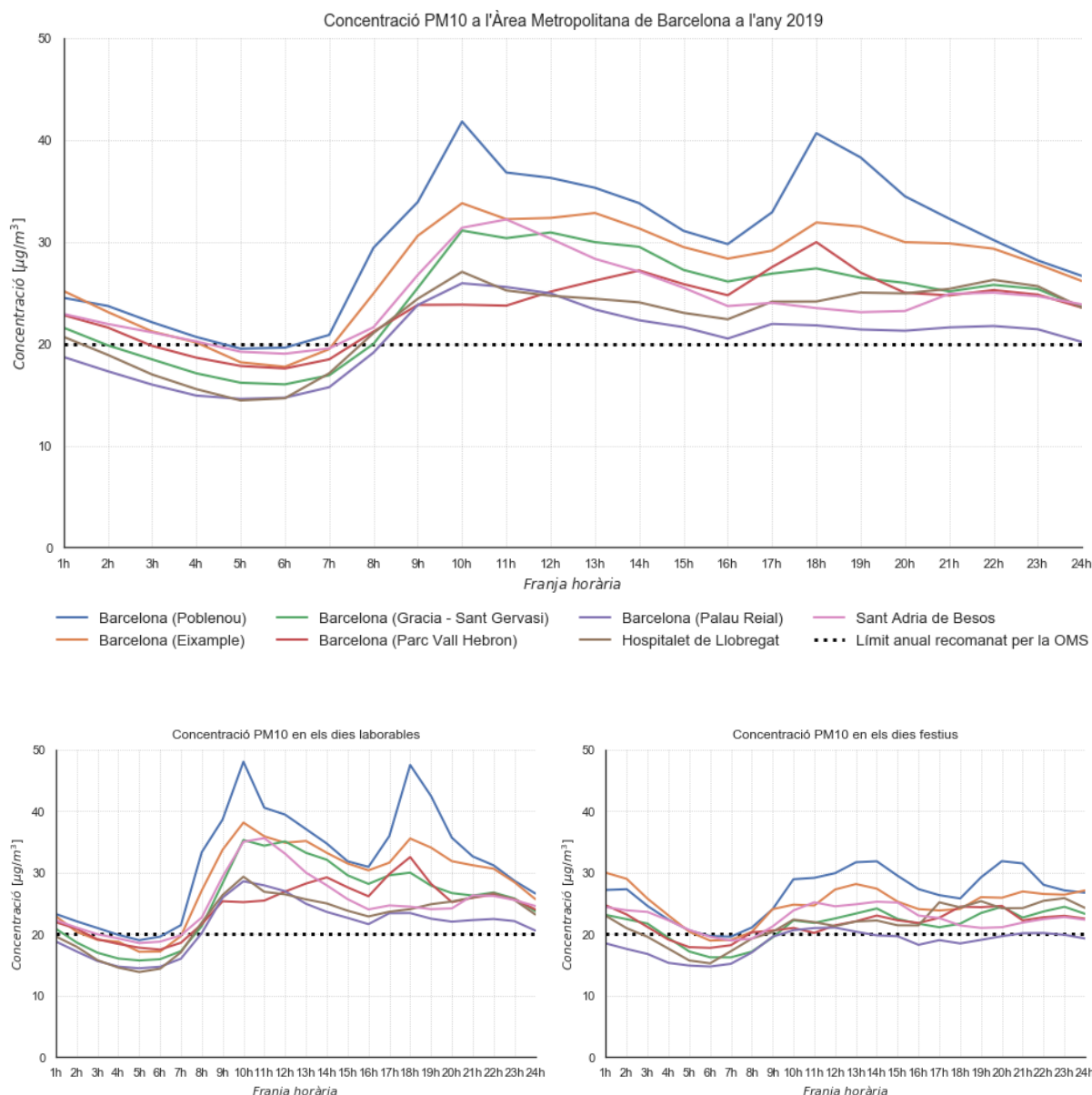


Figura 27: Distribució horària del PM₁₀ a l'any 2019

El gràfic principal mostra com durant la majoria de les hores del dia la mitjana supera el límit de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El gràfic dels dies laborables segueix amb la mateixa tendència però amb pics encara més alts per les hores punta del dia. Mentrestant en el gràfic dels dies no laborables, tot i superar el límit, no hi ha pics molt alts i es manté un valor raonablement estable al llarg del dia, que no s'incrementa per la nit. També es veu com en els dies festius s'obtenen els valors més baixos de tot el dia durant el matí i no durant la nit, en contrast amb els dies laborables que és el cas oposat.

En global segueix havent una estructura com la trobada al NO₂, és a dir, concentracions baixes per la nit que pujant ràpidament amb l'hora punta del matí i que després tornen a baixar formant una forma de 'U'.

En els tres gràfics s'aprecia com a Poblenou és on s'obtenen els valors d'immissió més alts, que recordem és una àrea de fons. Les estacions de Gràcia – Sant Gervasi i l'Eixample estan en segona o tercera posició, una prova més de que el tràfic no té una gran influència en els valors de PM₁₀. Es troba que l'estació de Poblenou té uns valors excessivament alts si es compara amb la resta d'estacions de fons.

Superació del llindar de curt termini

En els gràfics de la Figura 28 s'avaluarà el llindar de curt termini, que consisteix en no superar els 50 µg/m³ de mitjana durant un dia. Recordem que el PM₁₀ és molt perjudicial per a la salut en concentracions altes.

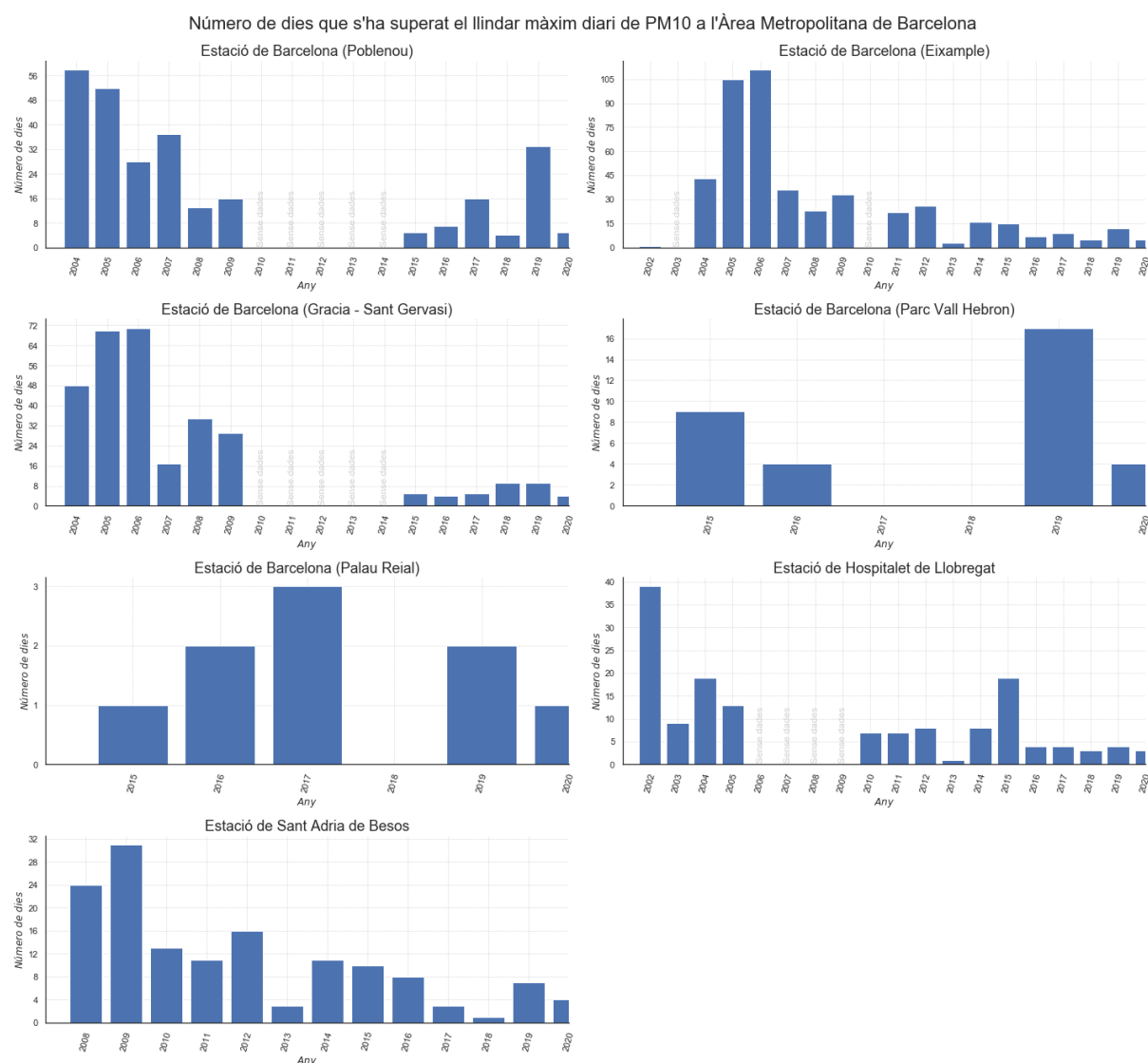


Figura 28: Dies en els qual s'ha superat el llindar de curt termini de PM₁₀

Es veuen dades preocupants. Els eixos verticals contenen números molt alts, a l'Eixample a l'any 2006 es va arribar a superar els 100 dies amb aquestes mitjanes tant altes. En aquest cas les estacions de tràfic són les que tenen valors més alts amb diferència, són inclús més alts que l'estació de Poblenou.

Afortunadament, la situació ha millorat en els últims anys però en general se segueix superant el límit uns quants dies a l'any per tant encara hi ha marge de millora. De fet, si no es té en compte el 2020 perquè només han passat 4 mesos, hi ha una tendència de pujada. A Poblenou es va superar en 32 dies aquest llindar al 2019, gairebé un 10% de l'any. Cal prendre mesures per evitar tornar estar a valor de l'època del 2000 a 2010.

Distribució mensual i setmanal

En darrer lloc, s'analitzen els gràfics de l'evolució mensual de la concentració i la mitjana per dies de la setmana a partir de les dades del 2019. Donat que en el PM₁₀ es disposa d'un llindar anual, s'ha afegit al segon gràfic. Dit això, es mostra la Figura 29:

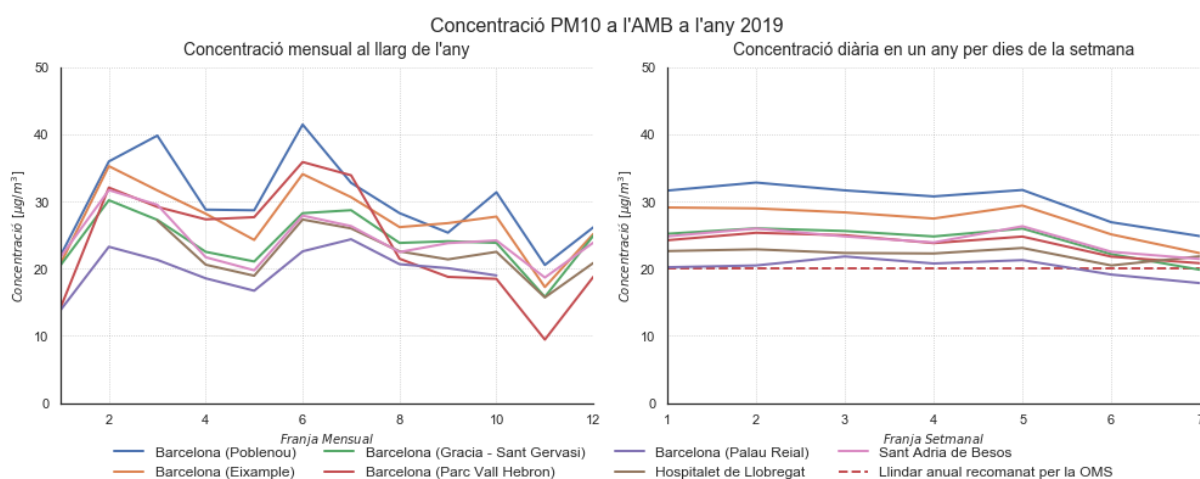


Figura 29: Distribució setmanal i mensual del PM₁₀

El gràfic de l'evolució mensual mostra com per a totes les estacions el mínim es troba al novembre, que és un període laborable. Sí que s'aprecia que a les vacances de primavera i d'estiu baixa la mitjana però en el mes de novembre sens dubte s'obtenen els valors més baixos. Per contra els mesos amb els valor més alts són febrer i juny, amb l'excepció de Poblenou. El segon gràfic mostra una lleugera baixada en els caps de setmana, però com s'aprecia no és molt elevada. Tenint en compte que els caps de setmana representen la majoria dels dies festius, és coherent que la baixada sigui baixa ja que en el primer gràfic observat (l'evolució anual) es va observar una diferència petita entre els dies laborables i els no laborables.

3.6.4 Anàlisi O₃

Una vegada analitzats els dos principals contaminants que més afecten a l'aire, es procedeix a analitzar l'ozó. Aquest és el responsable de la boira que apareix i que no permet veure el cel amb claredat. En aquest cas no disposem d'un llindar de llarg termini (anual), únicament d'un de curt termini:

Mitjana en 8 hores	100 µg/m ³
--------------------	-----------------------

El O₃ és potser l'últim contaminant que s'estudia amb profunditat. La resta al no tenir valors molts alts hi ha menys estacions que mesuren els nivells d'immissió. En aquest cas hi ha 6 estacions diferents, que són les 2 de tràfic, la industrial i per últim 3 estacions de fons. Queda una distribució d'estacions bastant equilibrada en comparació als altres contaminants.

Evolució anual

Primer de tot es mostrarà l'evolució anual dels valors d'immissió del O_3 en la Figura 30. Donat que no hi ha un valor llindar anual simplement es mostraran els gràfics i es veurà quines tendències hi ha. Es segueix amb el mateix format dels gràfics vists anteriorment.

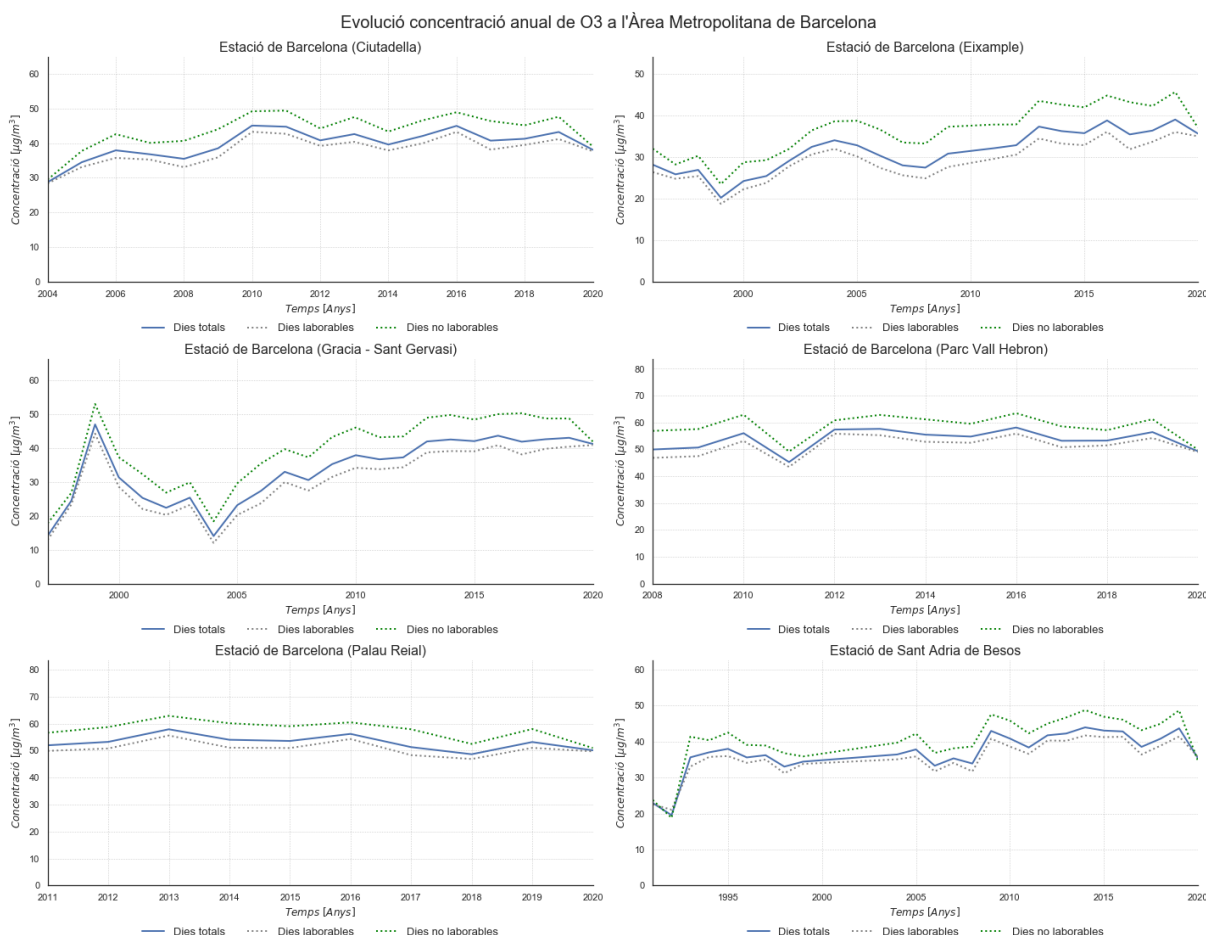


Figura 30: Evolució anual del O_3

Analitzant les diferents estacions es veu com l'evolució de la concentració del O_3 és diferent a la del NO_2 i el PM_{10} . S'aprecia com al llarg dels anys hi ha hagut un augment de la concentració en certes estacions i com en unes altres s'ha mantingut. Queda clar que no hi ha hagut una reducció en cap de les estacions, amb l'excepció de l'àrea de Gràcia- Sant Gervasi entre el 1999 i el 2004.

Hi ha un fenomen que trenca la lògica actual: en els dies festius hi ha nivells més alts de O_3 que en els dies laborables. Aquesta diferència és especialment significativa en les estacions de trànsit. S'han revisat les dades i el codi per tal d'evitar confusions, i els gràfics són correctes. Cal tenir molt en compte aquest fenomen ja que avui en dia les lleis que s'apliquen no tenen en compte aquesta consideració.

En general les estacions de trànsit i la industrial tenen unes mitjanes baixes en comparació amb estacions de fons com podrien ser Palau Reial o el parc de Vall d'Hebron. Per tant l'efecte del tràfic i de la indústria no és molt significatiu en les emissions totals.

Distribució horària

En aquest cas es mostra l'evolució horària de les immissions de O_3 en la Figura 31. Una vegada més les dades fan referència a l'any 2019.

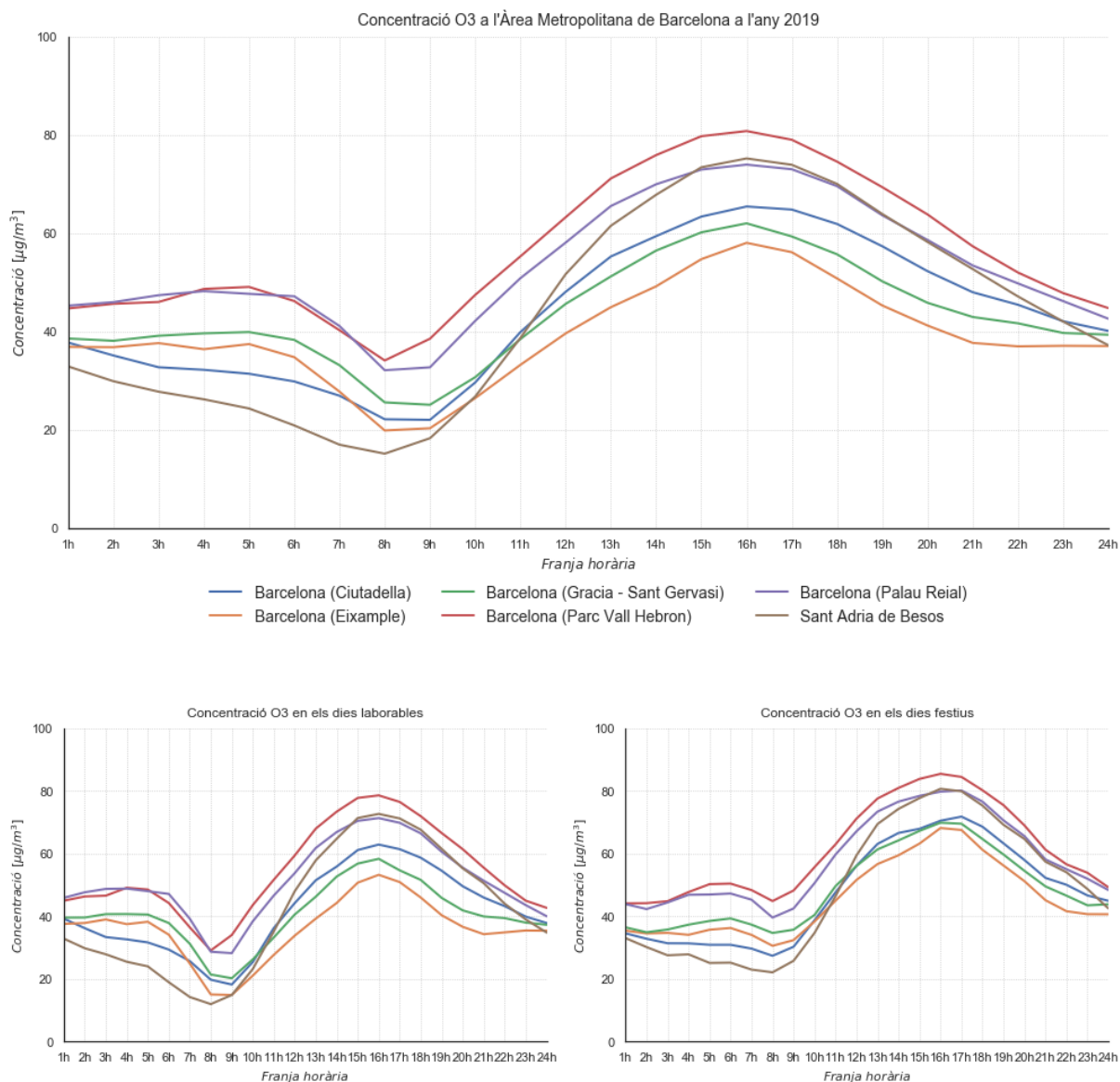


Figura 31: Distribució horària del O_3 a l'any 2019

En aquest cas s'aprecia com els tres gràfics tenen la mateixa distribució. En general els valors per la nit són els més baixos i pel matí van augmentant fins al voltant de les 15h o 16h i després disminueixen. Aquesta distribució és totalment diferent a les vistes anteriorment i té sentit ja que el O_3 reacciona amb la llum solar i durant el migdia és quan hi ha més intensitat en la llum solar.

Sí que es nota una baixada inusual durant l'hora punta en els dies laborables. Es creu que aquesta baixada ve donada per una reacció del O_3 amb el contaminant NO_2 creant l'ozó troposfèric,

que és el perjudicial per a la salut. Cal recordar que en l'hora punta del matí en dies laborables la quantitat de NO₂ emesa és molt alta, per tant és raonable que aquest excés de NO₂ reaccioni amb el O₃.

De fet, les dos estacions amb els valors de O₃ més baixos són les de trànsit, que a la seva vegada són aquelles que tenen els valors de NO₂ més alts. Pel contrari, les estacions de Val d'Hebron i de Palau Reial són les que tenen els valors de O₃ més alts i també són les que tenen els valors de NO₂ més baixos. Es troba per tant aquesta correlació: els valors de O₃ d'una zona són inversament proporcionals als valors de NO₂ de la mateixa zona.

Superació del llindar de curt termini

En el O₃ només es disposa d'un llindar que estableix que la mitjana durant 8 hores ha de ser inferiors als 100 µg/m³. Per tant, ara sí que es podrà mirar aquests valors en la Figura 32 i comparar-los amb el llindar per veure la situació actual.

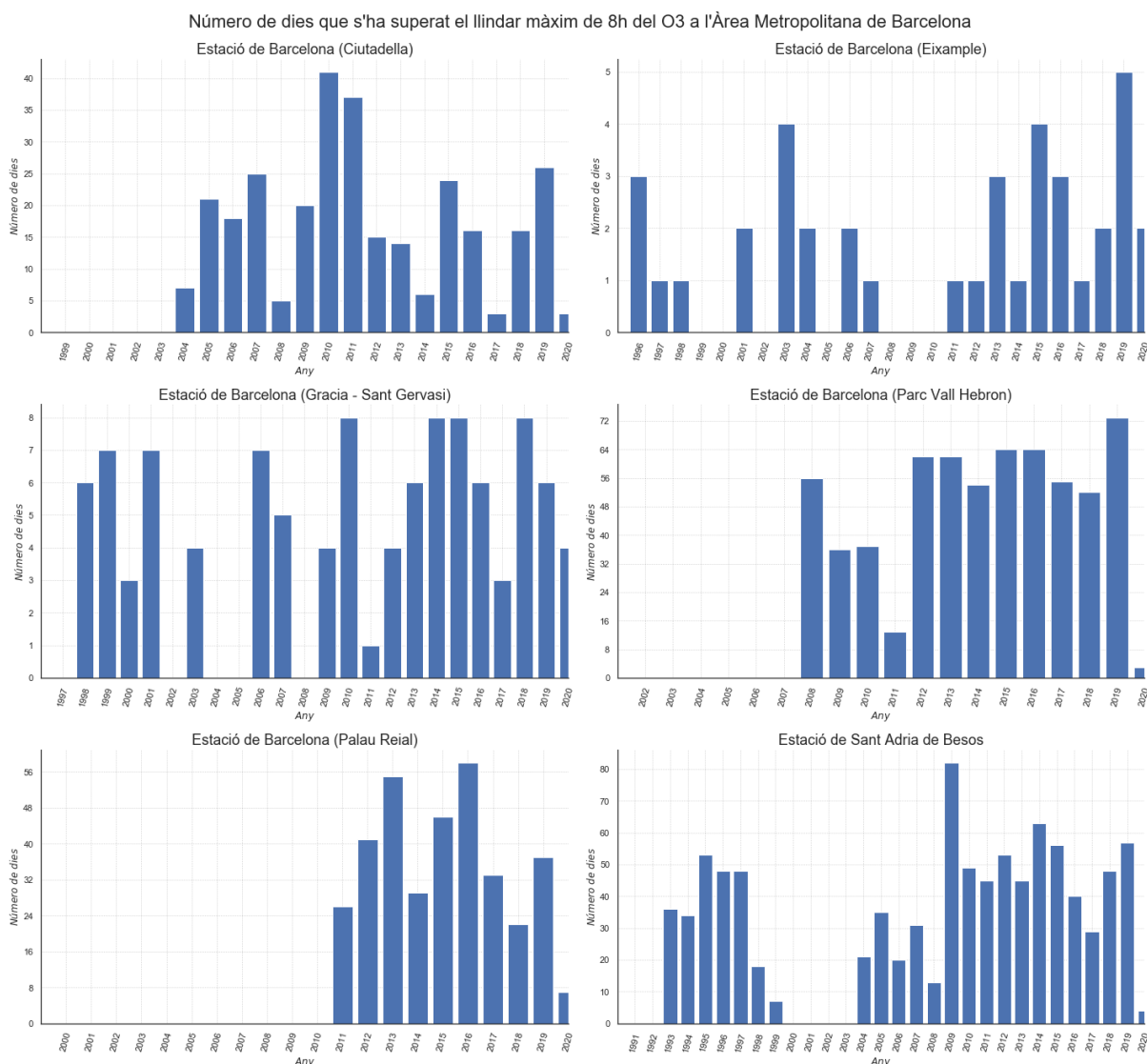


Figura 32: Dies en els qual s'ha superat el llindar de curt termini del O₃

Es pot veure com amb el pas dels anys hi ha més dies que han superat el llindar de 8 hores o com a molt s'han mantingut estables. En certes àrees el número de dies on se supera aquest llindar és molt elevat, més d'un 10% de l'any. Aquest increment en els valors de l'ozó probablement és degut a la disminució del NO_2 en els últims anys. Només cal mirar els valors per les estacions de trànsit (l'Eixample i Gràcia- Sant Gervasi) per veure que només es sobrepassa aquest límit durant pocs dies a l'any.

Aquestes dades són preocupants ja que amb el temps els nivells de NO_2 aniran baixant i molt probablement els nivells de O_3 augmentaran. Si avui en dia en certes estacions ja es sobrepassa el llindar de 8 hores durant més de 50 dies a l'any, fàcilment podran arribar als 100 dies a l'any en el futur.

Distribució mensual i setmanal

Per últim s'avalua les distribucions mensual i setmanal del O_3 en la Figura 33:

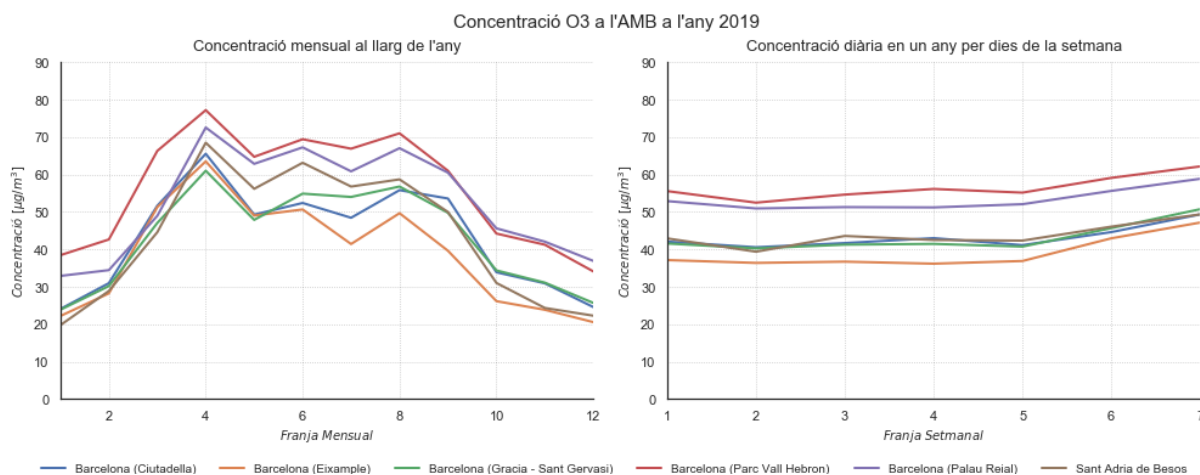


Figura 33: Distribució setmanal i mensual del O_3

El gràfic mensual mostra una estructura diferent a la vista anteriorment. Durant l'hivern hi ha els valors més baixos i a la resta de l'any els valors són molt més alts. Tenint en compte que el O_3 es produeix a partir de la llum solar, aquest gràfic és coherent ja que durant aquests mesos és quan hi ha més llum solar. És interessant veure que durant l'estiu aquests valors no augmenten ja que la llum solar és la mateixa, simplement augmenta la temperatura. En una zona com l'àrea metropolitana de Barcelona on la majoria de l'any és solejat, els valors de O_3 són bastant més elevats.

El gràfic dels dies setmanals per primera vegada no mostra una reducció en la concentració durant els caps de setmana. Tenint en compte que en els dies festius la concentració de NO_2 és més baixa és lògic que la concentració de O_3 sigui encara més alta.

3.6.5 Anàlisi SO_2

A continuació s'analitzarà el SO_2 . El diòxid de sofre és conegut per ser el principal causant de la pluja àcida. Al ser produït per la crema de combustibles fòssils la seva presència en la ciutat és obligatòria. Té un pes menor als contaminants anteriors però s'estudiarà per veure si en el

futur pogués passar a ser un problema més important. Els seus llindars són els següents:

Mitjana diària	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Mitjana en 10 minuts	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Donada la naturalesa de les dades, que són horàries, no serà possible avaluar el segon llindar que és per a cada 10 minuts. Per tant, només es compararà amb la mitjana diària de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En aquest cas, com era d'esperar, hi ha menys estacions que mesuren aquest contaminant. De les 4 que ho fan, 2 són les de tràfic i les altres 2 són de fons.

Evolució anual

Com en altres contaminants, tot i no tenir un llindar anual, s'han fet els gràfics per a veure l'evolució del SO_2 en els últims anys. Es mostren en la Figura 34:

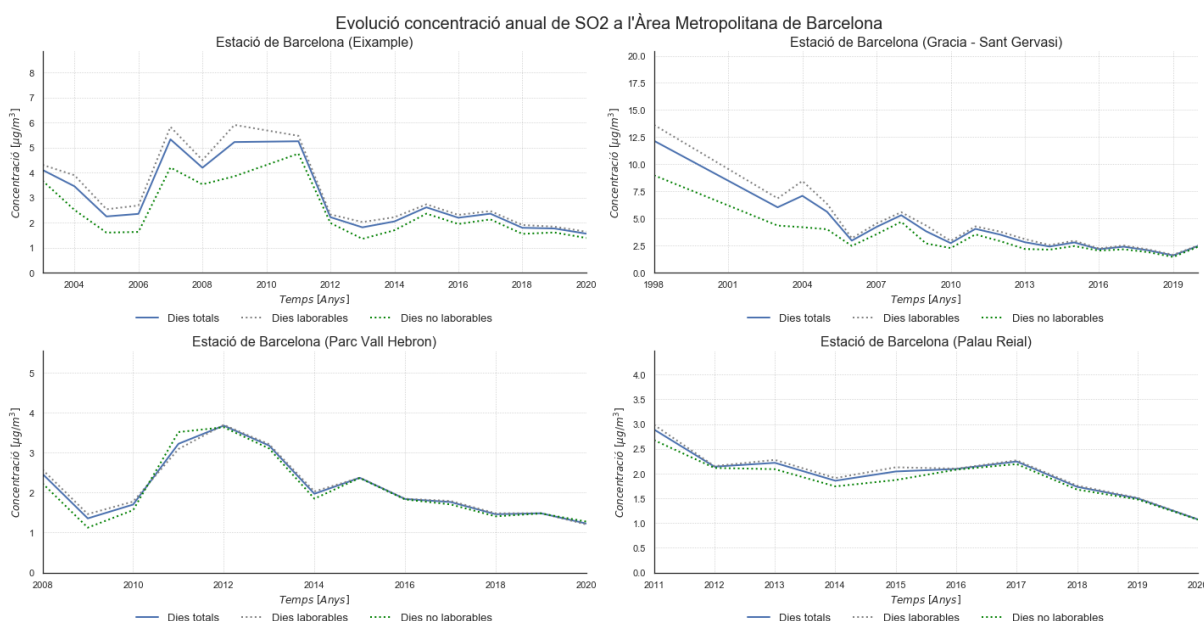


Figura 34: Evolució anual del SO_2

Disposar de dades de només 4 estacions implica que les tendències trobades són menys fiables ja que no inclouen la totalitat del territori. Dit això, en general s'aprecia una reducció notable del nivell de SO_2 . Les estacions de trànsit disposen de valors més antics i es pot veure com la concentració al 1998 era de 12.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mentre que al 2018 ha baixat fins el 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En 20 anys s'ha reduït en 6 vegades aquest valor. En l'estació de l'Eixample en l'última dècada s'ha passat d'uns 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a menys de 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Aquestes dades són molt optimistes i mostren la gran reducció que s'ha produït en aquestes dos últimes dècades.

Pel que fa a la tipologia d'estacions, si s'observen els valors dels últims 5 anys s'aprecia com les 4 estacions disposen de valors similars, per tant el tràfic no té molta influència.

Distribució horària

A continuació en la Figura 35 es mostren els gràfics de l'evolució horària de les immissions del

SO₂ a partir de les dades del 2019:

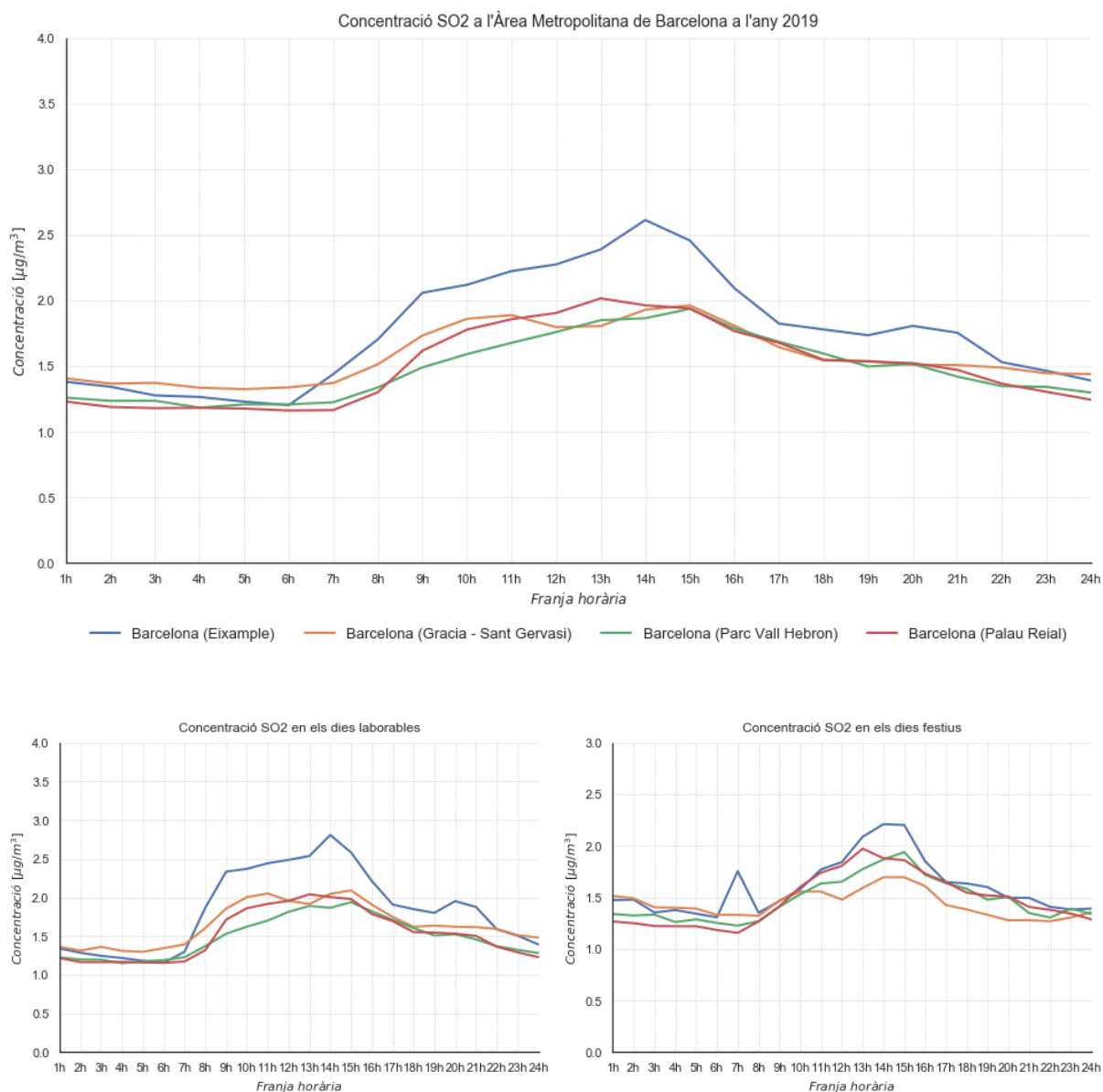


Figura 35: Distribució horària del SO₂ a l'any 2019

En aquests gràfics s'aprecia un comportament similar al vist al O₃. Els valors mínims es produeixen durant la nit i el màxim s'assoleix al migdia, entorn a les 14 o 15 hores. Tot i ser produït per la crema de combustibles, en les hores punta no es produeix el pic de la concentració diària. El SO₂ no segueix la mateixa regla que el O₃ en quan al NO₂, es pot veure que l'estació amb els valors més alts és l'Eixample, que és una estació de tràfic. En els dies festius, l'estació de Gràcia – Sant Gervasi, també de trànsit, rep els valors d'immissió més baixos.

Es tracta d'un gas que es produeix a partir de la crema de combustibles fòssils, per tant l'obtenció d'aquests gràfics porta molta confusió. Probablement donada la baixa concentració de SO₂ que hi ha actualment, alguns factors que en altres contaminants eren negligibles han adquirit un pes

important. En la Figura 9 ja es a veure que el 70% d'emissions de SO₂ provenen de la producció i distribució d'energia.

Superació del llindar de curt termini

En els gràfics de la Figura 36 s'avalua si les concentracions de SO₂ superen la mitjana diària de 20 µg/m³. Tot i que es disposa de dos llindars de curt termini, es recorda que el de 10 minuts és impossible ja que cada valor representa 1 hora.

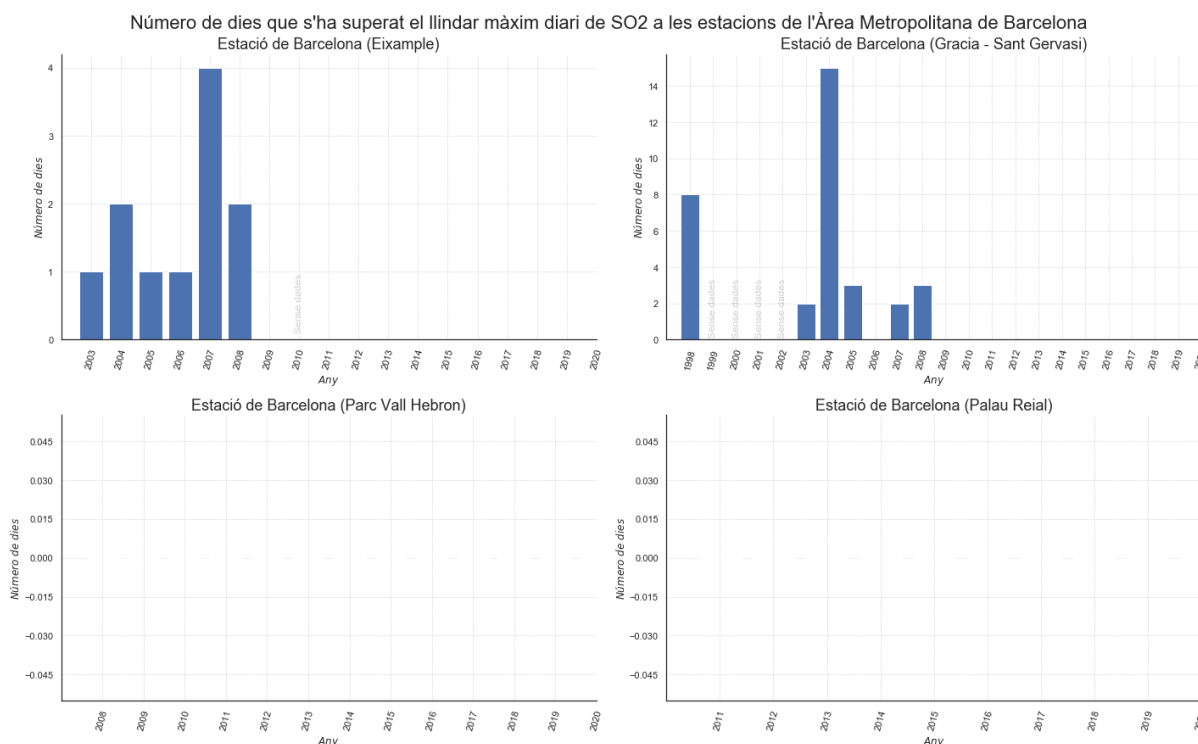


Figura 36: Dies en els qual s'ha superat el llindar de curt termini del SO₂

Com era d'esperar, la falta de color blau en aquests gràfics mostra com els nivells de concentració de SO₂ són baixos en general. De fet, en els últims 10 anys no s'ha superat aquest llindar en aquestes 4 estacions. Tot i tractar-se de només 4 estacions, al ser les dades contundents, es pot afirmar que el SO₂ és un contaminant residual i que actualment els seus nivells no són perillous.

Distribució mensual i setmanal

En vista de les Figures 35 i 36, la Figura 37 pot aportar més arguments per confirmar les suposicions comentades anteriorment. Com en els altres casos s'utilitzen les dades del 2019.

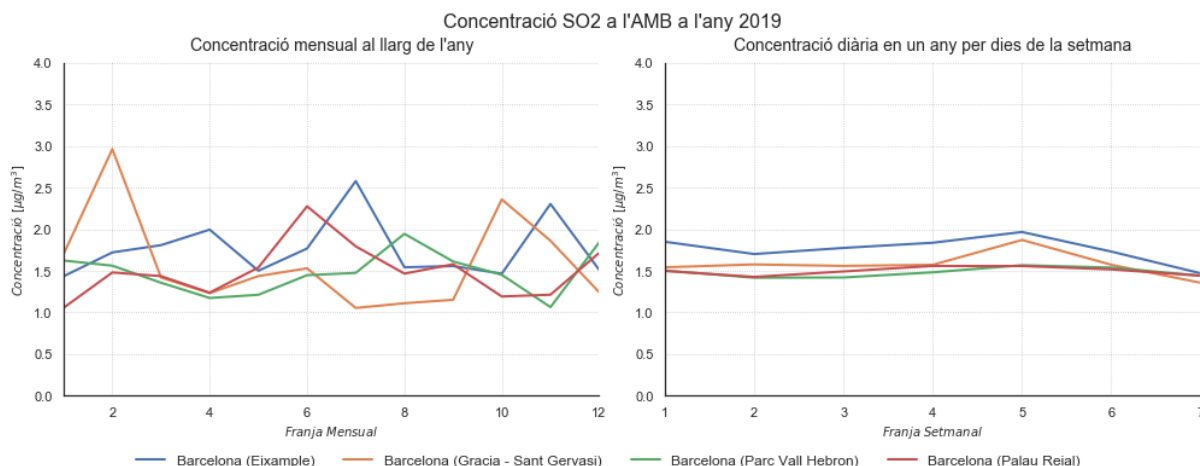


Figura 37: Distribució setmanal i mensual del SO₂

En el gràfic de l'evolució mensual no s'aprecia cap tendència clara. Hi ha molta variació entre les estacions i al disposar de dades d'únicament 4 estacions, no es pot concloure res. Per últim el segon gràfic mostra com la mitjana diària és pràcticament la mateixa durant tota la setmana, amb una lleugera baixada durant el cap de setmana.

3.6.6 Anàlisi CO

L'últim contaminant a avaluar és el CO. Cal destacar que aquest no és tant comú com el CO₂. Això és degut a que en la combustió d'hidrocarburs, només en el cas de que no hi hagi suficient oxigen es produiran tant CO com CO₂. En el cas que hi hagi suficient oxigen, com podrien ser els motors de combustió interna dels vehicles, només es produeix CO₂. Les concentracions llimar són les següent:

Mitjana en 1 hora	30 mg/m ³
Mitjana en 8 hores	10 mg/m ³

Es tornen a tenir les mateixes 4 estacions d'abans, per tant 2 fan referència a les estacions de tràfic i les altres 2 a estacions de fons.

Evolució anual

En aquest cas, per a realitzar la Figura 38 s'han ficat al costat de l'altre els gràfics amb el número de dies que s'ha superat el llimar de 1 hora de 30 mg/m³ i el de l'evolució de la concentració anual. S'ha fet d'aquesta manera per la peculiaritat dels resultats obtinguts.

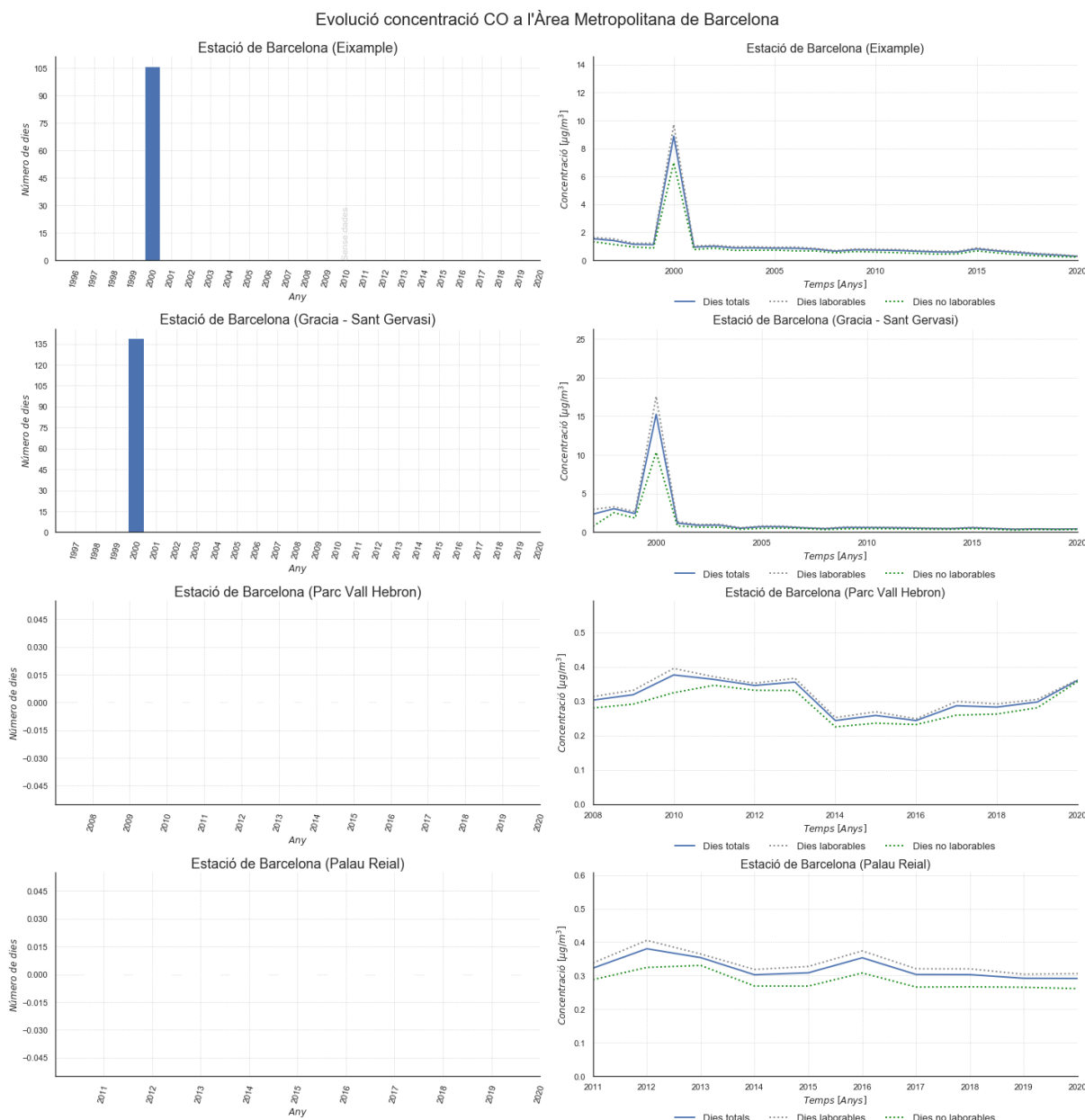


Figura 38: Superació del límit de curt termini i evolució anual del CO

Com s'aprecia a l'any 2000 hi ha pics inusuals, molt més superiors que als altres anys. S'han tornat a descarregar les dades per a verificar que no s'han modificat en el procés. Els gràfics de l'esquerra mostren com la mitjana anual és molt més superior però amb els gràfics de la dreta es pot deduir que aquesta mitjana elevada no s'ha produït per pics de contaminació produïts per fenòmens com incendis, ja que s'ha superat aquest límit durant més de 100 dies de l'any 2000.

Els valors de l'any 2000 probablement siguin erronis, una possible causa podria ser que al penjar-se les dades es va confondre un contaminant amb un altre. No té sentit que hi hagi una diferència tan gran, ja que a l'any 2000 s'ha investigat i no s'ha trobat cap incident capaç de crear aquesta anomalia.

Si no es té en compte l'any 2000, es veu com s'ha mantingut un valor estable del CO, i com en la última dècada mai s'ha passat del llindar de 1 hora. Per aquesta mateixa raó no es fa el mateix gràfic aplicat al llindar de 8 hores, ja que els nivells són en general molt baixos.

Distribució horària

En la Figura 39 es mirarà com evoluciona al llarg del dia el CO, a partir de les dades del 2019. Ja s'ha vist com els nivells són molt baixos per tant l'objectiu simplement serà entendre millor els nivells actuals de CO.

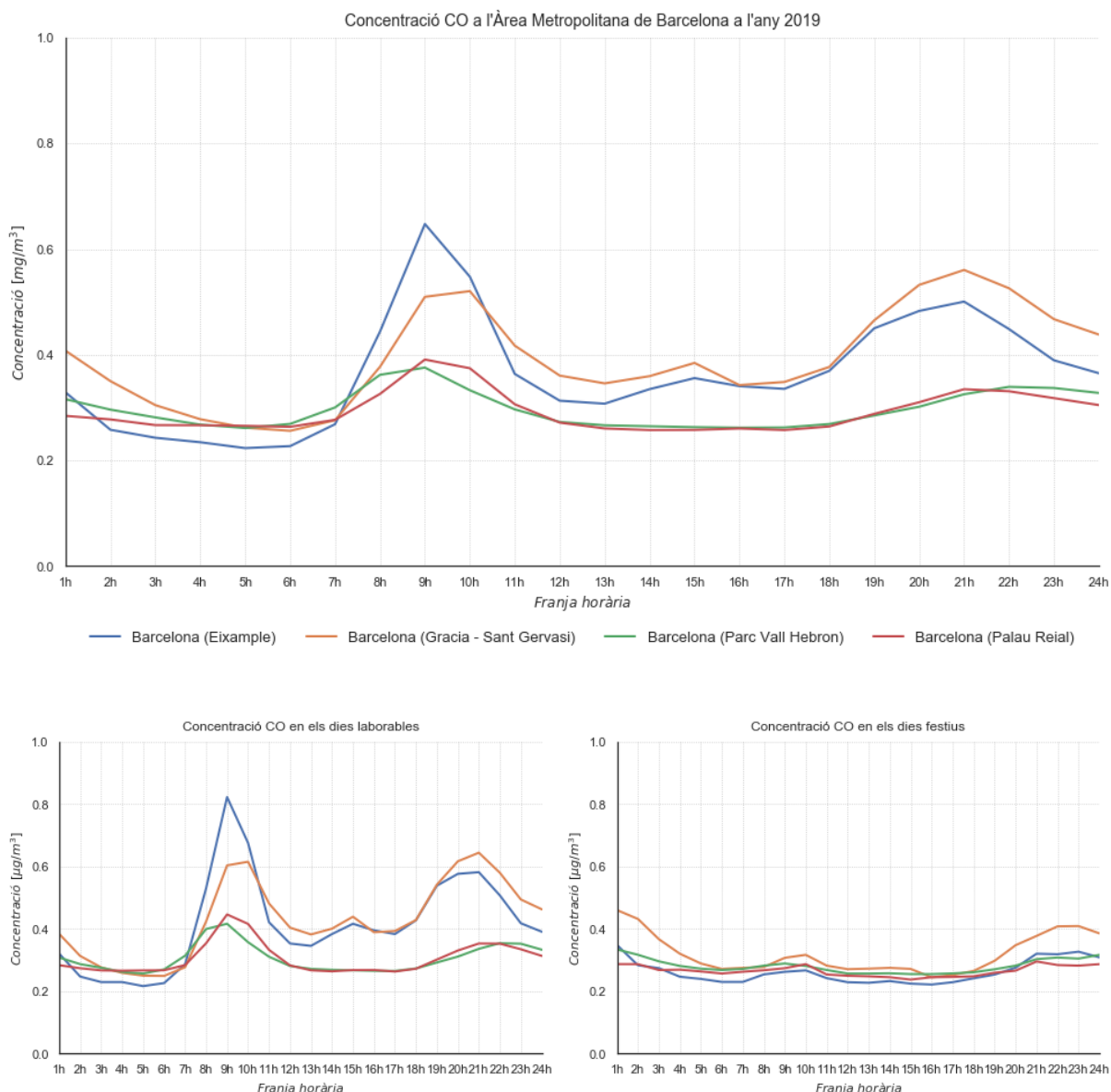


Figura 39: Distribució horària del CO a l'any 2019

En el gràfic principal es torna a tenir una estructura com la vista al NO_2 , nivells baixos durant la nit i durant el dia té una forma de "U". En el cas dels dies festius la estructura és diferent i s'aprecia que el màxim està durant les hores de nit.

En els dies laborables les estacions de tràfic tenen una mitjana superior a les estacions de fons, mentre que al cap de setmana no s'aprecia aquesta mateixa tendència ja que l'estació de l'Eixample és la que té una mitjana menor la majoria del dia.

Distribució mensual i setmanal

Per últim en la Figura 40 s'avaluen altres tendències interessants del CO a partir de les dades del 2019.

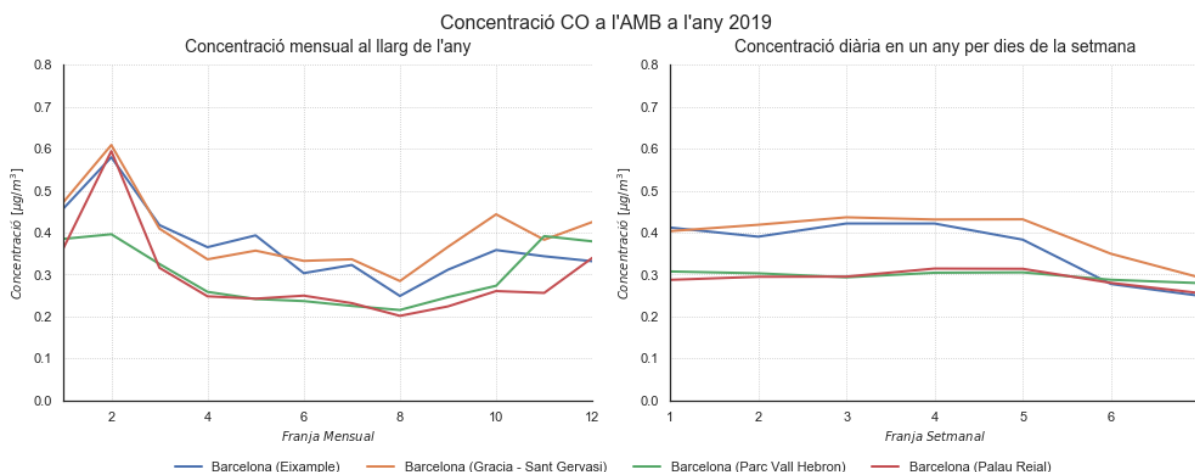


Figura 40: Distribució setmanal i mensual del CO

Començant amb el gràfic de l'evolució mensual, s'aprecia com els valors més alts es produeixen a l'hivern, amb un pic al mes de febrer. Aquests valors en la resta de l'any són més baixos i arriben a un mínim a l'agost, quan hi ha vacances.

En el cas del segon gràfic s'aprecia una baixada durant els caps de setmana, especialment significativa en les estacions de tràfic. En el cas de les estacions de fons els valors es mantenen pràcticament constants durant tota la setmana.

3.7 Anàlisi de dades de l'estat d'alarma

El 12 de març el president del govern espanyol, Pedro Sánchez, va anunciar la declaració de l'estat d'alarma que va ser efectiva a partir del dia següent. L'estat d'alarma restringeix la lliure circulació de la població entre el territori i l'obertura dels negocis entre d'altres. No només cal tenir en compte l'estat d'alarma, ja que sense aquest, la conscienciació de la població ha portat al distanciament físic per tal d'evitar augmentar els casos de contagiats.

En definitiva, és interessant avaluar quina és la qualitat de l'aire en aquest període de confinament per tal de veure si hi ha mesures que s'estan prenent avui en dia que no són efectives i es podrien substituir per d'altres millors. En l'estudi de les dades històriques s'han obtingut moltes correlacions amb el tràfic, per tant serà interessant veure com ha evolucionat la contaminació en l'estat d'alarma ja que hi ha hagut reduccions del tràfic molt importants.

Tenint en compte que els valors de SO_2 i CO són molt baixos, s'ha decidit no considerar-los en aquesta part ja que el seu anàlisi no aporta valor, al ser contaminants que no comporten un perill per a la salut ciutadana.

3.7.1 Model de gràfic

S'ha dissenyat el model de manera que aporti la màxima informació però mantenint-se la simplicitat que tenen els gràfics. Es mostraran les dades per als 4 primers mesos de l'any 2020 amb una línia de color blau i també els primers 4 mesos de l'any 2019 amb una línia discontinua de color gris. L'objectiu és primer mostrar la diferència entre abans del confinament i una vegada declarat l'estat d'alarma, i comparar-ho alhora amb les dades de l'any passat per a veure la diferència. La Figura 41 representa un exemple del model.

A més, per a les dades durant el confinament (la part posterior al 12 de març) s'afegeixen dos línies també discontinues de color verd i gris, que representen les mitjanes d'aquest període per a l'any 2020 i 2019 respectivament. A més, sota a l'esquerra s'afegeix quina és la variació relativa entre aquests dues mitjanes. Un signe negatiu implica que ha baixat la concentració d'un contaminant mentre que un signe positiu vol dir que ha augmentat.

S'han considerat tots els dies, sense una separació entre dies laborables i no laborables ja que aquesta part ja s'ha fet anteriorment, l'objectiu d'aquests gràfics és confirmar si les relacions trobades anteriorment són correctes, i quantificar aquesta reducció o augment de la contaminació.

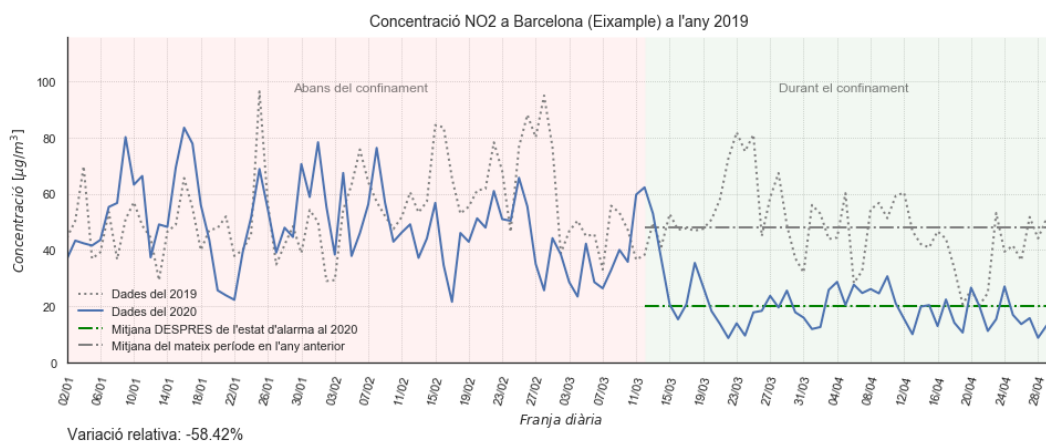
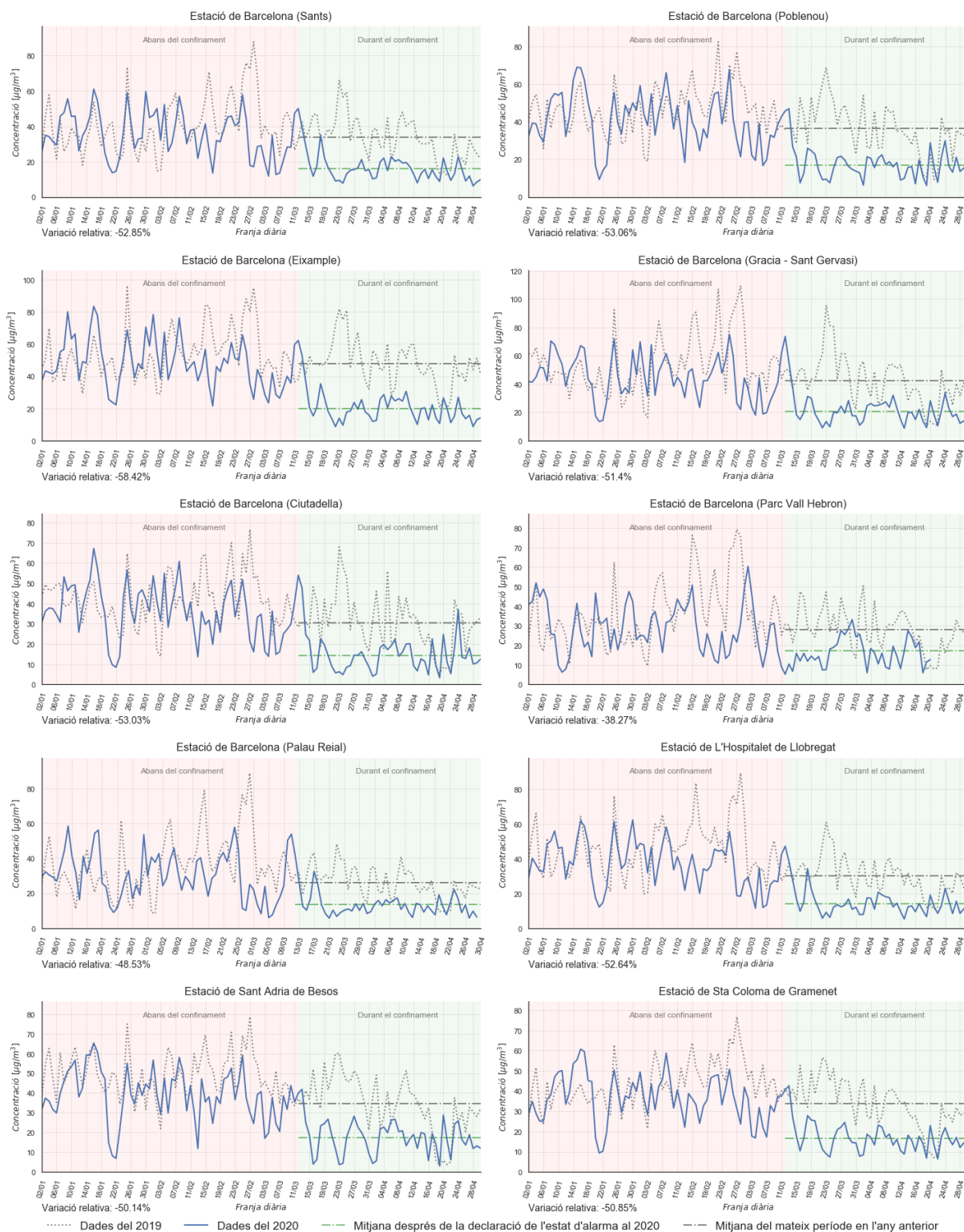


Figura 41: Model de gràfic de l'anàlisi de l'estat d'alarma

3.7.2 Anàlisi NO₂

Com s'ha vist al llarg d'aquestes pàgines, el NO₂ és el contaminant atmosfèric més important. Per això és important analitzar els resultats en aquest període. Tots els gràfics de la Figura 42 mostren una baixada alta de la concentració en el període de confinament. Aquestes baixades són d'un 50% en general, una baixada molt brusca. Tenint en compte que la mitjana anual abans del confinament estava entorn als 40 µg/m³, el límit de la OMS, si aquesta reducció fos permanent s'aconseguiria una qualitat de l'aire molt bona.

Evolució concentració NO₂

Figura 42: Evolució durant l'estat d'alarma del NO₂

S'aprecia com en l'etapa del confinament es redueix molt la contaminació en comparació amb l'etapa d'abans dels confinament. Aquest comportament és normal i ja s'ha vist a la Figura 26, ja que el pic de contaminació es produeix al Febrer i després baixa aquest valor. De fet es pot veure aquesta mateixa tendència a les dades del 2019 del mateix gràfic.

S'ha de destacar que no només les estacions de tràfic han baixat un 50%, ja que a les estacions de fons també hi ha reduccions tant altes. És raonable tenint en compte que l'estat d'alarma ha afectat al tràfic però també a la contribució regional i altres emissors de contaminació.

3.7.3 Anàlisi PM₁₀

L'altre contaminant més preocupant és el PM₁₀. En aquest cas la mitjana anual és de 20 µg/m³. Mirant els gràfics de la Figura 43 també es veu una baixada alta respecte l'any passat, totes superiors al 20%. Això mostra com en aquest cas també s'aconsegueix una reducció important. Els resultats no són tan bons com en el cas del NO₂ però sí que porten a l'optimisme.

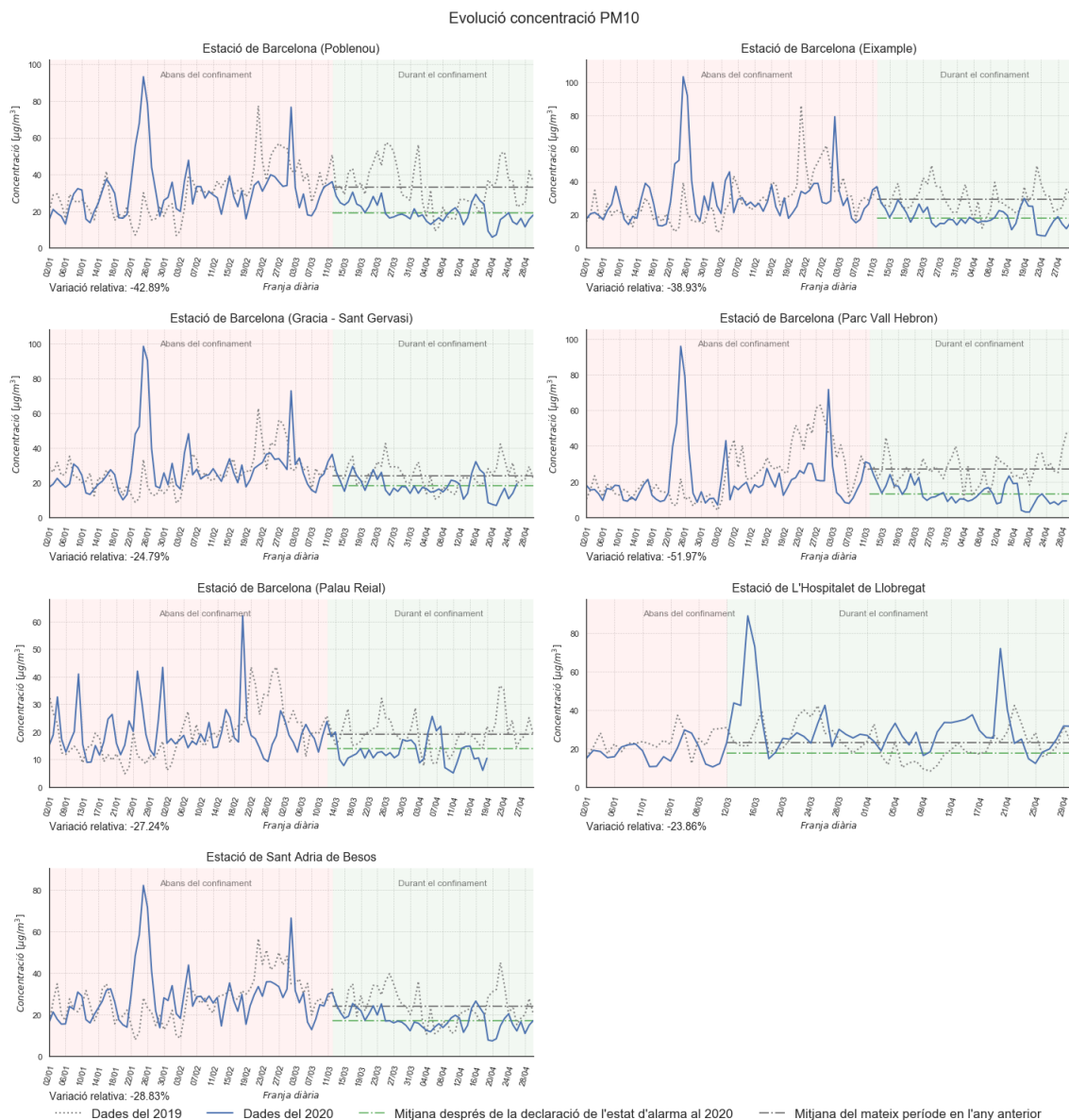


Figura 43: Evolució durant l'estat d'alarma del PM₁₀

L'estació amb la reducció més alta és Vall d'Hebron, seguida per Poblenou, ambdues estacions de fons. Pel contrari, l'estació amb una reducció menor és L'Hospitalet de Llobregat, també estació de fons. Les altres tipologies d'estacions estan situades al centre. Finalment totes les estacions han tingut una mitjana entre els 15 i els 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Cal destacar que, segons la Figura 30, aquests valors augmentaran fins al juny, per tant, tot i ser optimistes es podrien millorar.

3.7.4 Anàlisi O₃

En l'ozó s'ha vist en l'anàlisi històric com al llarg dels anys, a diferència dels altres contaminants, no ha baixat la seva concentració anual. I els gràfics obtinguts en l'estat d'alarma tampoc són molt positius. A continuació es mostren en la Figura 44:

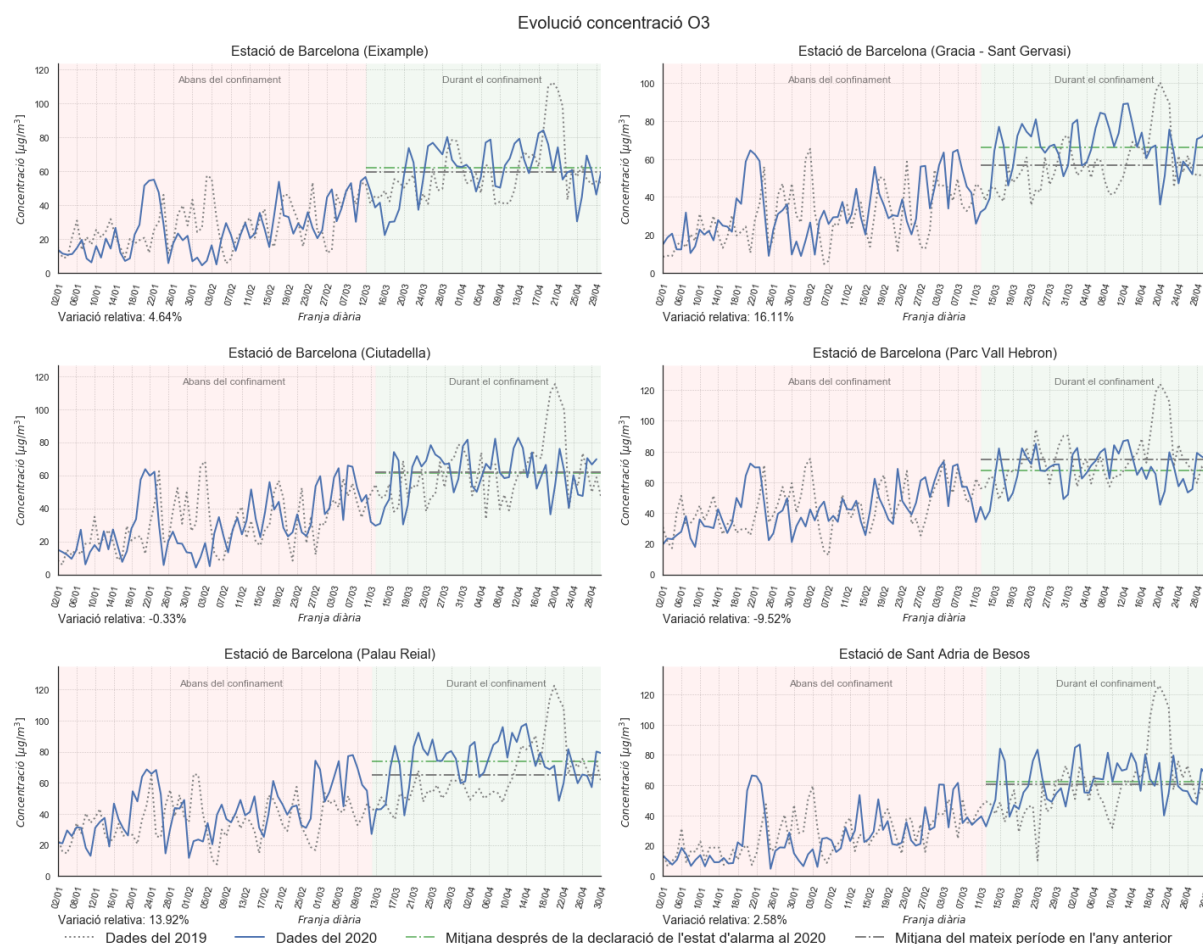


Figura 44: Evolució durant l'estat d'alarma del O₃

Primerament s'aprecia com durant el confinament els valors són molt més alts que abans del confinament. Això és normal ja que com es va veure a l'anàlisi històric el pic de contaminació en un any es produeix a l'abril. Es pot veure a la Figura 33 com tenen aquesta mateixa tendència, per tant el confinament no ha sigut el causant d'aquest increment de la contaminació, almenys no en la seva totalitat.

Analitzant les variacions relatives, es veu com algunes són nul·les i d'altres que són positives i negatives. Aquesta variabilitat mostra com el confinament no ha afectat molt a la concentració que hi ha. D'aquí es pot extreure que mesures com la ZBE no servien per a baixar els nivells d'immissió de l'O₃, ja que tot i haver una reducció tan alta del tràfic no s'ha aconseguit una reducció d'aquest contaminant.

Tenint en compte que el O₃ ha sobrepassat durant molts dies el límit establert per la OMS, s'haurien de plantejar mesures per intentar reduir aquest contaminant i aconseguir tenir un cel més clar.

4 Anàlisi econòmic

A continuació es farà una breu descripció del cost de la realització d'aquest projecte a partir dels recursos utilitzats.

Maquinari

Per a la realització del projecte s'ha utilitzat un ordinador portàtil connectat a un monitor. Les especificacions tècniques del portàtil són les següents:

- Intel(R) Core(TM) i5-1035G1, 8GB RAM, 512GB SSD

És un ordinador normal, amb especificacions discretes però al llarg de la realització d'aquest treball no ha donat cap problema. Es considera la vida útil d'ambdós dispositius de 5 anys. Tenint en compte que el present treball s'ha realitzat en 4 mesos, el cost final es calcula amb la següent expressió:

$$\text{Cost} = (\text{Preu de l'equip}) \cdot (\text{Temps realització projecte}) / (\text{Temps vida útil})$$

La taula final és la següent:

Equip	Preu de l'equip	Cost
Ordinador portàtil	700€	46,67€
Monitor	170€	11,33€
Total	870€	58,00€

Taula 10: Cost dels equips utilitzats

Programari

Tot el programari utilitzat en aquest projecte és *programari de codi font obert* i a més és totalment gratuït. Per tant, gràcies a la gran comunitat de desenvolupadors de programari lliure, l'adquisició no ha suposat cap cost econòmic. En la Taula 11 s'enumeren els programes utilitzats.

Linux Mint
Python 3.8
Jupyter Notebook
Libreoffice Calc i Writer
L ^A T _E X

Taula 11: Programari utilitzat

Recursos Humans

Aquest projecte s'ha realitzat per una sola persona, el que comportarà que s'hauran de considerar els diferents rols de tot el procés per a la mateixa persona. Donat que un professional és molt més eficient en la seva tasca, és lògic que el seu salari també sigui major. Per al càlcul del cost s'han considerat salaris més baixos que la mitjana, ja que si s'hagués fet per professionals amb experiència el número d'hores dedicades hauria sigut menor. S'ha investigat en diverses pàgi-

nes com *LinkedIn* o *Glassdoor* els sous i s'ha escollit un salari més baix per a compensar aquesta falta de productivitat. En la Taula 12 està el salari per hora de cada rol:

Rol	Salari [€/hora]
Gestor de projectes	25
Analista	15
Desenvolupador	15
Coordinador	12

Taula 12: Salaris per hora de cada rol

Finalment, es fa un desglossament del cost total dels recursos humans:

Activitat	Hores dedicades	Posició	Cost [€]
Planificació del treball	20	Gestor de projectes	500
Recerca de la qualitat de l'aire	80	-	1200
Investigació	50	Analista	750
Documentació	30	Analista	450
Anàlisi de dades de l'AMB	150	-	2250
Manipulació de les dades	90	Desenvolupador	1350
Creació dels gràfics	40	Desenvolupador	600
Validació dels gràfics	20	Desenvolupador	300
Memòria final	110	-	1320
Redacció de la memòria	60	Coordinador	720
Revisió i correcció d'errors	20	Coordinador	240
Preparació i defensa de la memòria	30	Coordinador	360
Total	360	-	5270

Taula 13: Dedicació en hores del treball

La taula 13 consta de 4 apartats diferents:

- Planificació del treball: En aquest apartat s'inclouen les hores dedicades a la planificació inicial del projecte i també a les dedicades als dos blocs del projecte.
- Recerca de la qualitat de l'aire: En aquest segon apartat es quantifica les hores dedicades al primer bloc. Estan les hores dedicades per investigar sobre la contaminació atmosfèrica i també les hores dedicades a extreure les imatges i informació que s'ha inclòs en el projecte.
- Anàlisi de dades de l'AMB: En aquest cas s'ha inclòs les hores dedicades per obtenir els gràfics del segon bloc. La majoria del temps s'ha dedicat a programar per manipular les dades i transformar-les en el format adequat a partir de funcions auxiliars. Posteriorment s'han obtingut els gràfics i s'ha validat que estaven correctament realitzats.
- Memòria final: En aquest últim apartat s'inclou la redacció preliminar de la memòria amb LibreOffice i també la redacció final en LaTeX. També s'ha inclòs la revisió i correcció de la memòria i la preparació de la defensa final.

Costos indirectes

Pel que fa als costos indirectes, n'hi ha dos:

- Consum energètic
- Connexió a la xarxa

Per al càlcul del consum energètic es té en compte que l'ús ha sigut de 360 hores i que el preu de la llum per hora (kWh) és de 0.1€ :

Equip	Potència [kW]	Cost[€]
Ordinador portàtil	0.04	1.44
Monitor	0.03	1.08
Total	-	2.52

En referència a la connexió a la xarxa, no es considera al haver diversos usuaris que l'utilitzen i el valor obtingut segurament sigui baix.

Cost final

En general els costos més elevats en la realització de projectes com aquest és el de recursos humans, de fet suposen gairebé un 99% del cost total. Per últim, en la Taula 14 es mostra el cost total del projecte:

Tipologia del Recurs	Cost [€]
Maquinari	58
Programari	0
Recursos humans	5270
Costos indirectes	2.52
Total	5330.52

Taula 14: Cost total de la realització del projecte

5 Conclusions

5.1 Efecte dels contaminants actualment

Els contaminants que s'han comentat afecten seriosament la nostra salut i és imprescindible reduir-los en la mesura possible per tal de millorar la qualitat de l'aire actual. L'estudi realitzat a partir de les dades publicades per la Generalitat ha proporcionat informació clara sobre la situació actual dels principals contaminants. A continuació s'exposaran les conclusions extretes sobre cada contaminant.

Diòxid de Nitrogen (NO_2):

El diòxid de nitrogen al llarg dels últims anys s'ha reduït considerablement. En comparació amb altres països els nivells són molt més baixos i la tendència en els últims anys és de baixada. Tot i així no es suficient, ja que la qualitat de l'aire avui en dia no és suficientment bona.

El principals emissors de NO_2 són els vehicles de combustió interna, tal i com s'ha vist a les Figures 9, 11 i 23. La figura 42, en referència a l'estat d'alarma, ha mostrat com una reducció del tràfic ha comportat una baixada del 50% en els valors d'immissió en gairebé tota la ciutat. En conseqüència les mesures que s'han de prendre per a reduir aquest contaminant s'han d'enfocar en el tràfic que hi ha en la ciutat. La renovació del parc automobilístic juntament amb la Zona de Baixes Emissions asseguraran una baixada de la concentració d'aquest contaminant en la pròxima dècada. La transició a vehicles que funcionin amb energia elèctrica assegurarà que els nivells de NO_2 siguin considerablement baixos. Per tant, es considera que el camí actual és el adequat, únicament s'haurien de proposar més alternatives a la gent afectada per aquesta transició.

Partícules pesants (PM_{10}):

Les partícules pesants han tingut una tendència similar al NO_2 . En els últims anys s'ha reduït considerablement la concentració mitjana però tot i així els valors estan entorn al llindar límit. Per tant cal plantejar mesures concretes per a reduir la concentració actual.

El principal emissor del PM_{10} és la contribució regional, com es pot apreciar a les Figures 9, 11 i 27. Per tant, les mesures comentades anteriorment no reduïrien la contaminació. A més el 90% de les emissions de PM_{10} dels vehicles no provenen del motor, si no que provenen del desgast dels neumàtics amb la superfície de la carretera i els frens [24]. Per aquesta mateixa raó les emissions de PM_{10} d'un vehicle elèctric són similars que les d'un vehicle de combustió interna.

Durant l'estat d'alarma s'ha reduït considerablement la concentració de PM_{10} ja que es van parar obres, negocis i altres emissors de PM_{10} , i en menor part per una disminució del tràfic. De moment ja hi ha un protocol d'actuació en cas de nivells alts de contaminació però l'objectiu final ha de ser una mesura de prevenció, i no de minimització dels efectes negatius. Es considera necessari per part dels ajuntaments investigar mesures que possibilitin reduir la concentració de PM_{10} .

Ozó (O₃):

L'ozó és un cas particular que es diferencia dels dos anteriors. Es tracta d'un contaminant secundari, que no s'emet directament pel tràfic o la indústria, si no que s'emet a partir dels rajos de llum, òxids de nitrogen i en l'atmosfera. La seva tendència en la ciutat ha sigut d'augment al llarg dels últims anys.

Primer cal destacar que la AMB és una zona amb molts dies de llum a l'any per tant és lògic que tingui valors més elevats que en altres llocs del nord d'Europa. En la figura 31, s'ha trobat que els nivells de O₃ en la ciutat són inversament proporcionals als nivells de NO₂, malgrat que el NO₂ és necessari per a produir O₃. Aquesta conclusió té sentit ja que en les zones rurals els nivells de O₃ són més elevats que a les zones urbanes, però té una explicació.

El O₃, al ser un contaminant que no s'emet directament a partir d'emissors situats en la ciutat, els seus valors d'immissió són molt diferents als valors d'emissió dels precursors com podrien ser el NO₂. Per tant, en les estacions de tràfic on hi ha un nivell de NO₂ alt, part d'aquest NO₂ es desplaça cap altres zones de la ciutat i es transforma en O₃ mentre que en la pròpia zona de tràfic no rep suficient NO₂ per obtenir uns valors de O₃ alts. És per això que és important distingir els conceptes d'emissió i immissió.

En teoria la solució principal consisteix en una reducció global de les emissions de NO₂ en tota la ciutat però com s'ha vist en la Figura 44, en referència a les dades de l'estat d'alarma del O₃, no s'ha produït una reducció alta. Tenint en compte que durant molts dies a l'any es supera el llindar màxim, cal investigar propostes efectives per tal de reduir els nivells de O₃.

Diòxid de Sofre (SO₂) i Monòxid de Carboni (CO):

Per últim tenim aquests dos contaminants, que gràcies a les millores dels últims anys els nivells actuals són bastant baixos i no suposen un risc per a la ciutadania. Cal seguir mesurant aquests contaminants per si en el futur pugen els nivells però s'han de dedicar els esforços als altres tres contaminants comentats anteriorment.

5.2 Efectivitat de la ZBE

La Zona de Baixes emissions és una de les mesures més restrictives que s'ha pres fins ara per tal de millorar la qualitat de l'aire de Barcelona. S'ha comprovat com és una mesura aplicada per molts països arreu del món i que els seus resultats estan demostrats.

Aquesta mesura ha sigut molt polèmica ja que hi ha un percentatge de la població que no es pot permetre comprar un cotxe nou per falta de recursos econòmics, o simplement perquè el seu funciona correctament i no té la necessitat de comprar-ne un de nou.

Cal destacar que la mesura és efectiva, ja que cal recordar que un cotxe dièsel que no compleix les restriccions contamina més que 6 cotxes dièsel o gasolina moderns. Per aquesta mateixa raó s'han obtingut resultats tant positius en altres països [25].

Tenint en compte aquestes dos perspectives, cal trobar un punt intermedi que funcioni. Molts dels objectius es troben correctes:

- Restricció dels vehicles únicament els dies laborables al llarg del dia, que són les hores amb uns nivells de contaminació més alts.

- Incentius per utilitzar el transport públic a la gent afectada per aquestes mesures.
- Millora de carrils bici.

Hi ha moltes mesures més que també es consideren adequades però sí que s'ha trobat una mesura que seria interessant considerar. Aquesta seria redistribuir subvencions de l'estat per tal de modificar els vehicles d'Euro 4 o anteriors amb l'objectiu de reduir les seves emissions.

Actualment tots els vehicles nous disposen d'un filtre de partícules, conegut amb les sigles de FAP, que s'encarrega de filtrar contaminants com podrien ser el NO₂. Tots els cotxes a partir de la norma Euro 5 incorporen un, és per això que l'emissió de NO₂ és molt menor que en cotxes més antics.

Seria interessant presentar al ciutadà l'opció d'afegir un d'aquests filtres al seu cotxe antic, si considera que és la seva millor inversió. Aquests filtres no són barats, poden tenir un cost de 3000€ [26] però una vegada s'instal·len en un vehicle antic la seva contaminació baixa dràsticament. Hi ha grups minoritaris com podrien ser els propietaris de vehicles clàssics, que aquesta opció els semblaria molt atractiva ja que amb la normativa actual no poden utilitzar els seus cotxes.

També cal plantejar l'efectivitat de les subvencions actuals. Actualment, un ciutadà amb un cotxe amb més de 10 anys que compri un vehicle elèctric rebrà una subvenció de 5500€ per aquesta compra [27]. Amb aquesta subvenció s'incentiva que es passi d'utilitzar un cotxe de combustió interna a un cotxe elèctric que té zero emissions. Es podrien destinar part d'aquests diners per la implantació d'aquests filtres, ja que també s'aconsegueix el mateix objectiu de reduir la contaminació. Evidentment un cotxe elèctric és millor ja que les seves emissions de diòxid de carboni són nul·les però la inversió també és molt alta. Amb una subvenció de 1000€ molts ciutadans es plantejarien aquesta opció.

Aquesta mesura seria una forma més d'ajudar al ciutadà a escollir l'opció que considera més adequada, i s'aconseguiria maximitzar la reducció de la contaminació amb els diners públics. Cal destacar que aquesta mesura seria a curt o mig termini, ja que el preu dels vehicles elèctrics cada vegada està baixant a mesura que millora la tecnologia. Per tant, la millor mesura a llarg termini és que la majoria del parc automobilístic funcioni amb energia elèctrica.

5.3 Agraïments

Per acabar, m'agradaria agrair a tota aquella gent que m'ha donat suport al llarg d'aquest treball de fi de grau.

Primer, m'agradaria donar les gràcies al meu tutor i director del projecte, Antoni Soto i Riera, pels seus consells en aquest treball, pel seu suport i disponibilitat, i per la confiança dipositada en mi.

També m'agradaria agrair a les institucions que han fet possible aquest treball. En especial destacar la transparència de la Generalitat de Catalunya per la publicació de les dades i a la Organització Mundial de la Salut i l'Agència Europea del Medi Ambient per la seva labor divulgativa.

Finalment, agrair a la meva família i amics per donar-me suport en tot moment, la seva paciència i l'ajuda rebuda per part seva.

Bibliografia

- [1] WORLD HEALTH ORGANIZATION, Maig 2018, *Ambient (outdoor) air pollution*, [Online, [https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)]
- [2] TECNOLOGIA DEL MEDI AMBIENT I SOSTENIBILITAT, ETSEIB, *Contaminació atmosfèrica : Prevenció i tractaments*, [Transparències part teòrica, Tema 3]
- [3] CONTRIBUIDORS DE PROJECTES DE WIKIMEDIA, *Air Pollution - Wikipedia*, [Online, https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Air_pollution&oldid=961858990]
- [4] CARRINGTON DAMIAN, The Guardian - Març 2019, *Air pollution deaths are double previous estimates, finds research*, [Online, <https://www.theguardian.com/environment/2019/mar/12/air-pollution-deaths-are-double-previous-estimates-finds-research>]
- [5] WORLD HEALTH ORGANIZATION, *Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease*, [Online, <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/250141/9789241511353-eng.pdf?sequence=1>]
- [6] MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA, 2018, *Evaluación de la calidad del aire en España*, [Online, https://www.miteco.gob.es/images/es/informeevaluacioncalidadaireespana2018_tcm30-498764.pdf]
- [7] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, Abril 2020, *Air quality in Europe 2019*, [Online, <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2019>]
- [8] MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE, *Análisis de la calidad del aire en España: Evolución 2001 - 2012*, [Online, https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/analisisdelacalidaddelaireenespanaevolucion2001-2012web_tcm30-185073.pdf]
- [9] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, Abril 2020, *Air quality in Europe 2018*, [Online, <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2018>]
- [10] CONTRIBUIDORS DE PROJECTES DE WIKIMEDIA, Maig 2020, *Low-emission zone - Wikipedia*, [Online, https://en.wikipedia.org/wiki/Low-emission_zone]
- [11] AJUNTAMENT DE BARCELONA, *Programa de mesures contra la contaminació atmosfèrica*, [Online, <https://bcnroc.ajuntament.barcelona.cat/jspui/bitstream/11703/99264/1/mesuradegove.pdf.pdf>]
- [12] CONTAMINACIÓ BARCELONA, Gener 2020, *Quant contamina el port?*, [Online, <https://contaminacio.barcelona/2020/01/09/quant-contamina-el-port>]
- [13] ÀREA METROPOLITANA DE BARCELONA, Gener 2020, *ZBE Rondes de Barcelona*, [Online, <https://www.zbe.barcelona/zones-baixes-emissions/la-zbe.html>]
- [14] ÀREA METROPOLITANA DE BARCELONA, Abril 2020, *Informe dels resultats del balanç d'emissions*, [Online, https://docs.amb.cat/alfresco/api/-default-/public/alfresco/versions/1/nodes/1e3a770a-cdb8-4152-9eb3-4e67dab9ba3e/content/DESEMBRE_2019.pdf?attachment=false&mimeType=application/pdf&sizeInBytes=2644809]

- [15] ÀREA METROPOLITANA DE BARCELONA, Abril 2020, *Etiquetes ambientals*, [Online , <http://www.amb.cat/s/web/mobilitat/mobilitat-sostenible/contaminacio-atmosferica/etiquetes-ambientals.html>]
- [16] CONTRIBUIDORS DE PROJECTES DE WIKIMEDIA, Maig 2020, *Normativa europea sobre emissions - Wikipedia*, [Online , https://es.wikipedia.org/wiki/Normativa_europea_sobre_emisiones]
- [17] DEPARTAMENT DE TERRITORI I SOSTENIBILITAT, Abril 2020, *Qualitat de l'aire*, [Online , http://mediambient.gencat.cat/ca/05_ambits_dactuacio/atmosfera/qualitat_de_laire/]
- [18] DEPARTAMENT DE TERRITORI I SOSTENIBILITAT, Juny 2020, *Vols saber què respires?* , [Online , http://mediambient.gencat.cat/ca/05_ambits_dactuacio/atmosfera/qualitat_de_laire/vols-saber-que-respires/]
- [19] DIPUTACIÓ DE BARCELONA, Maig 2020, *La proposta de Zona de Baixes Emissions en 1 minut*, [Online , <https://www.sostenible.cat/article/la-proposta-de-zona-de-baixes-emissions-en-1-minut>]
- [20] DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT FOOD & RURAL AFFAIRS, UK, *Site environment types - Defra, UK*, [Online , <https://uk-air.defra.gov.uk/networks/site-types>]
- [21] GENERALITAT DE CATALUNYA, Juny 2020, *Dades obertes*, [Online , http://governobert.gencat.cat/ca/dades_obertes/]
- [22] GENERALITAT DE CATALUNYA, Juny 2020, *Dades d'immissió dels punts de mesurament de la Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica*, [Online , <https://analisi.transparenciacatalunya.cat/Medi-Ambient/Dades-d-immissi-dels-punts-de-mesurament-de-la-Xar/uy6k-2s8r>]
- [23] AJUNTAMENT DE BARCELONA, 2020, *Calendari de dies festius*, [Online , <https://ajuntament.barcelona.cat/calendarifestius/ca/>]
- [24] VICTOR R.J.H. TIMMERS, PETER A.J. ACHTEN, Juny 2016, *Non-exhaust PM emissions from electric vehicles*, [Online , <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S135223101630187X?via%3Dihub>]
- [25] TRANSPORT & ENVIRONMENT SITE, *Low-Emission Zones are a success*, [Online , https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2019_09_Briefing_LEZ-ZEZ_final.pdf]
- [26] DIESEL INFORMATION HUB, *How to improve emissions caused by older diesel cars*, [Online , <https://dieselinformation.aecc.eu/how-to-improve-emissions-caused-by-older-diesel-cars/>]
- [27] GOBIERNO DE ESPAÑA, Anexo III BOE.es - Documento BOE-A-2020-6235, [Online , https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2020-6235]
- [28] DEPARTAMENT DE TERRITORI I SOSTENIBILITAT, *ZQA 1: Àrea de Barcelona* , [Online , http://www.gencat.cat/mediamb/qaire/web/ZQA/1_zona_bcn.pdf]

ANNEX

Estacions en l'Àrea Metropolitana de Barcelona

ZQA 1: Àrea de Barcelona			
MUNICIPI	UBICACIÓ	AUTOMÀTICA	MANUAL
Badalona	Av. Marquès Mont-roig – c/ Ausiàs March	NOx, O ₃ , SO ₂	
Badalona	Assemblea de Catalunya, 9-12		PM10
Badalona	Av. del Carítg (Guàrdia Urbana)		PM10
Barcelona	Eixample (Av. Roma-c/ Urgell)	NOx, PM10, O ₃ , CO, SO ₂	PM10, PM2.5, Benzè, Metalls, B(a)p
Barcelona	Ciutadella	NOx, O ₃	
Barcelona	Gràcia – Sant Gervasi (Gal·la Placídia)	NOx, O ₃ , CO, SO ₂ , PM10	PM10, PM2.5, Benzè, Metalls, B(a)p
Barcelona	IES Goya (C/ Garriga i Roca)		PM10, PM2.5, Metalls, B(a)p
Barcelona	Port Vell (Moll Pescadors)		PM10
Barcelona	Pl. Universitat		PM10, PM2.5, Metalls, B(a)p
Barcelona	Poblenou (Pl. Doctor Trueta)	NOx, PM10	Benzè, PM10, PM2.5, Metalls, B(a)p
Barcelona	Sants (Jardins de Can Mantega)	NOx	PM10, Metalls, Benzè, B(a)p
Barcelona	Vall d'Hebron	NOx, O ₃ , CO, SO ₂ , PM10	PM10, PM2.5, Benzè, Metalls, B(a)p
Barcelona	Zona universitària		PM10, PM2.5, Metalls, B(a)p
Barcelona	IES Verdaguer		PM10, Metalls, B(a)p
Barcelona	Palau Reial	SO ₂ , NOx, O ₃ , CO, PM10 PM10, PM2.5	
Barcelona	Observatori Fabra	NOx, O ₃	
El Prat de Llobregat	Jardins de la Pau	NOx, SO ₂	PM10, Metalls
El Prat de Llobregat	CEM Sagnier	NOx, O ₃ , CO, SO ₂ , Benzè	PM10, PM2.5, Metalls
Esplugues de Llobregat	Escola Isidre Martí		PM10
Gavà	Parc de Mil·leni (c/ de l'Aigua)	NOx, O ₃ , CO, SO ₂ , Benzè	PM10, PM2.5, Metalls
L'Hospitalet de Llobregat	Av. Torrent Gornal	NOx, PM10	PM2.5
Molins de Rei	Ajuntament		PM10
St. Adrià del Besòs	C/ Olímpic	NOx, PM10, O ₃	PM2.5
St. Feliu de Llobregat	CEIP Martí i Pol	NOx, SO ₂	PM10, PM2.5
St. Just Desvern	CEIP Montseny	PM10	PM10
St. Vicenç dels Horts	C/ Ribot-c/ St. Miquel	NOx, O ₃ , PM10, SO ₂	
St. Vicenç dels Horts	C/ Àlaba (Barri Sant Josep)	NOx, SO ₂	PM10
St. Vicenç dels Horts	Col·legi Verge del Rocío		PM10, PM2.5, Metalls
Sta. Coloma de Gramenet	Torre Balldovina	NOx	PM2.5, PM10
Viladecans – Atrium	Av. Josep Tarradellas	NOx, O ₃ , CO, SO ₂ , Benzè	PM10, PM2.5, Metalls

(Darrera actualització: 24/05/2018)

Figura 45: Descripció de les estacions a l'AMB [28]

Descripció del conjunt de dades

El conjunt de dades disposa de 69 columnes, d'aquestes únicament 34 columnes són les necessàries per obtenir els gràfics. A continuació s'explicarà què representa cada columna i si pertany a una d'aquestes 34 columnes finals o no:

Nom de la columna	Descripció	Tipus	S'agafa?
CODI MESURAMENT	Camp únic format per la concatenació de: Codi EOI_Codi contaminant_AnyMesDia	Text Pla	No
CODI EOI	Format per: Codi Província, Codi Municipi i Codi Estació	Nombre	No
PROVINCIA	Codi numèric corresponent a la província (08- Barcelona / 17 – Girona / 25 -Lleida / 43 -Tarragona)	Nombre	No
CODI MUNICIPI	Codi numèric corresponent al municipi	Nombre	No
CODI ESTACIÓ	Codi numèric corresponent a l'estació	Nombre	No
NOM ESTACIÓ	Nom de la cabina. Valor alfanumèric d'uns 100 caràcters. Per exemple: Perafort (Puigdelfí)	Text Pla	Sí
MUNICIPI	Nom del municipi on es troba la cabina. Valor alfanumèric d'uns 100 caràcters. Per exemple: Perafort	Text Pla	No
LATITUD	Latitud expressada en graus decimals. Sistema de referència WGS84	Nombre	No
LONGITUD	Longitud expressada en graus decimals. Sistema de referència WGS84	Nombre	No
ALTITUD	Valor numèric de altitud de l'estació	Nombre	No
TIPUS ESTACIÓ	Valors possibles: Fons, Industrial o Trànsit	Text Pla	No
ÀREA URBANA	Valors possibles: Rural, Suburbana o Urbana	Text Pla	No
MAGNITUD	Codi numèric que identifica el contaminant	Nombre	No
CONTAMINANT	Fórmula o mnemotècnic del contaminant	Text Pla	Sí
UNITATS	Unitats de mesura del contaminant	Text Pla	Sí
PUNT MOSTREIG	Identificador del punt de mostreig, inclou informació de la cabina i el contaminant	Text Pla	No
ANY	Any en format YYYY que correspon a la dada mesurada	Nombre	Sí
MES	Mes en format MM que correspon a la dada mesurada	Nombre	Sí
DIA	Dia en format DD que correspon a la dada mesurada	Nombre	Sí
DATA	Data de la mesura	Data & Temps	Sí
H01	Columna amb el valor mesurat per al contaminant de l'estació per a l'hora 01	Text Pla	Sí

V01	Columna amb el flag de validació (V vàlid / N No vàlid) per al contaminant de l'estació per a l'hora 01	Nombre	No
H02	Columna amb el valor mesurat per al contaminant de l'estació per a l'hora 02	Text Pla	Sí
V02	Columna amb el flag de validació (V vàlid / N No vàlid) per al contaminant de l'estació per a l'hora 02	Nombre	No
H03	Columna amb el valor mesurat per al contaminant de l'estació per a l'hora 03	Text Pla	Sí
V03	Columna amb el flag de validació (V vàlid / N No vàlid) per al contaminant de l'estació per a l'hora 03	Nombre	No
H04	Columna amb el valor mesurat per al contaminant de l'estació per a l'hora 04	Text Pla	Sí
V04	Columna amb el flag de validació (V vàlid / N No vàlid) per al contaminant de l'estació per a l'hora 04	Nombre	No
H05	Columna amb el valor mesurat per al contaminant de l'estació per a l'hora 05	Text Pla	Sí
V05	Columna amb el flag de validació (V vàlid / N No vàlid) per al contaminant de l'estació per a l'hora 05	Nombre	No
H06	Columna amb el valor mesurat per al contaminant de l'estació per a l'hora 06	Text Pla	Sí
V06	Columna amb el flag de validació (V vàlid / N No vàlid) per al contaminant de l'estació per a l'hora 06	Nombre	No
H07	Columna amb el valor mesurat per al contaminant de l'estació per a l'hora 07	Text Pla	Sí
V07	Columna amb el flag de validació (V vàlid / N No vàlid) per al contaminant de l'estació per a l'hora 07	Nombre	No
H08	Columna amb el valor mesurat per al contaminant de l'estació per a l'hora 08	Text Pla	Sí
V08	Columna amb el flag de validació (V vàlid / N No vàlid) per al contaminant de l'estació per a l'hora 08	Nombre	No
H09	Columna amb el valor mesurat per al contaminant de l'estació per a l'hora 09	Text Pla	Sí
V09	Columna amb el flag de validació (V vàlid / N No vàlid) per al contaminant de l'estació per a l'hora 09	Nombre	No
H10	Columna amb el valor mesurat per al contaminant de l'estació per a l'hora 10	Text Pla	Sí
V10	Columna amb el flag de validació (V vàlid / N No vàlid) per al contaminant de l'estació per a l'hora 10	Nombre	No
H11	Columna amb el valor mesurat per al contaminant de l'estació per a l'hora 11	Text Pla	Sí
V11	Columna amb el flag de validació (V vàlid / N No vàlid) per al contaminant de l'estació per a l'hora 11	Nombre	No
H12	Columna amb el valor mesurat per al contaminant de l'estació per a l'hora 12	Text Pla	Sí
V12	Columna amb el flag de validació (V vàlid / N No vàlid) per al contaminant de l'estació per a l'hora 12	Nombre	No
H13	Columna amb el valor mesurat per al contaminant de l'estació per a l'hora 13	Text Pla	Sí

V13	Columna amb el flag de validació (V vàlid / N No vàlid) per al contaminant de l'estació per a l'hora 13	Nombre	No
H14	Columna amb el valor mesurat per al contaminant de l'estació per a l'hora 14	Text Pla	Sí
V14	Columna amb el flag de validació (V vàlid / N No vàlid) per al contaminant de l'estació per a l'hora 14	Nombre	No
H15	Columna amb el valor mesurat per al contaminant de l'estació per a l'hora 15	Text Pla	Sí
V15	Columna amb el flag de validació (V vàlid / N No vàlid) per al contaminant de l'estació per a l'hora 15	Nombre	No
H16	Columna amb el valor mesurat per al contaminant de l'estació per a l'hora 16	Text Pla	Sí
V16	Columna amb el flag de validació (V vàlid / N No vàlid) per al contaminant de l'estació per a l'hora 16	Nombre	No
H17	Columna amb el valor mesurat per al contaminant de l'estació per a l'hora 17	Text Pla	Sí
V17	Columna amb el flag de validació (V vàlid / N No vàlid) per al contaminant de l'estació per a l'hora 17	Nombre	No
H18	Columna amb el valor mesurat per al contaminant de l'estació per a l'hora 18	Text Pla	Sí
V18	Columna amb el flag de validació (V vàlid / N No vàlid) per al contaminant de l'estació per a l'hora 18	Nombre	No
H19	Columna amb el valor mesurat per al contaminant de l'estació per a l'hora 19	Text Pla	Sí
V19	Columna amb el flag de validació (V vàlid / N No vàlid) per al contaminant de l'estació per a l'hora 19	Nombre	No
H20	Columna amb el valor mesurat per al contaminant de l'estació per a l'hora 20	Text Pla	Sí
V20	Columna amb el flag de validació (V vàlid / N No vàlid) per al contaminant de l'estació per a l'hora 20	Nombre	No
H21	Columna amb el valor mesurat per al contaminant de l'estació per a l'hora 21	Text Pla	Sí
V21	Columna amb el flag de validació (V vàlid / N No vàlid) per al contaminant de l'estació per a l'hora 21	Nombre	No
H22	Columna amb el valor mesurat per al contaminant de l'estació per a l'hora 22	Text Pla	Sí
V22	Columna amb el flag de validació (V vàlid / N No vàlid) per al contaminant de l'estació per a l'hora 22	Nombre	No
H23	Columna amb el valor mesurat per al contaminant de l'estació per a l'hora 23	Text Pla	Sí
V23	Columna amb el flag de validació (V vàlid / N No vàlid) per al contaminant de l'estació per a l'hora 23	Nombre	No
H24	Columna amb el valor mesurat per al contaminant de l'estació per a l'hora 24	Text Pla	Sí
V24	Columna amb el flag de validació (V vàlid / N No vàlid) per al contaminant de l'estació per a l'hora 24	Nombre	No
Georeferència	Columna de georeferència	Localització	No

Taula 15: Descripció del conjunt de dades